

INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1

Résumé d'ouvrages et de travaux

« Caractérisation et gestion des interactions trophiques plantes-insectes pour une production intégrée des céréales tropicales »

Document de synthèse présenté par Alain RATNADASS

pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Soutenue le 8 février 2007

à l'INSA de Lyon

devant le jury composé de :

<i>MM</i>	<i>Gérard FEBVAY</i>	<i>Directeur de recherches INRA</i>	<i>Examineur</i>
	<i>Frédéric FLEURY</i>	<i>Professeur Université Claude-Bernard Lyon 1</i>	<i>Examineur</i>
	<i>Simon GRENIER</i>	<i>Directeur de recherches INRA</i>	<i>Examineur</i>
	<i>Benoît SAUPHANOR</i>	<i>Ingénieur de recherches (HDR) INRA</i>	<i>Examineur</i>
	<i>Jean-François SILVAIN</i>	<i>Directeur de recherches IRD</i>	<i>Rapporteur</i>
	<i>Jean-Michel THOMAS</i>	<i>Professeur ENESAD</i>	<i>Rapporteur</i>
	<i>Bernard VERCAMBRE</i>	<i>Chargé de recherches INRA/Chercheur CIRAD</i>	<i>Rapporteur</i>

Résumé

Les différentes formes de relations plante-insecte phytophage peuvent être classées en termes de résistance et de sensibilité, selon la façon dont sont affectés (positivement ou négativement) l'un et l'autre protagoniste. Bien que constituant souvent la pierre angulaire des stratégies de protection intégrée des plantes cultivées, la résistance variétale seule présente des limites, et d'autres voies doivent être explorées pour arriver à une résistance de l'ensemble de l'agroécosystème. Des exemples sont fournis, à partir des situations et modèles biologiques étudiés par l'auteur : (i) Résistance variétale du sorgho pluvial aux punaises des panicules en Afrique de l'Ouest et du centre ; (ii) Tolérance du sorgho repiqué aux foreurs des tiges au Nord-Cameroun ; (iii) Résistance aux insectes terricoles des agroécosystèmes à base de riz pluvial à Madagascar. Le descriptif des recherches est organisé autour des différentes formes de relations plante-insecte faisant évoluer l'échelle tant spatiale que de complexité passant de la plante au système de culture. Partant d'études bioécologiques classiques faites au niveau de la parcelle (avec des aspects originaux : couleurs de l'insecte liées à la couleur des grains, liaison dégâts dus aux punaises et moisissures, existence d'hôtes alternatifs), il se poursuit par un approfondissement de la relation entre le sorgho et ses ravageurs paniculaires (caractérisation et utilisation de la résistance variétale). Tout d'abord, des essais agronomiques multilocaux permettent d'approfondir la connaissance des relations (type et importance des dégâts, pertes économiques) entre un groupe de variétés du sorgho et ses ravageurs. Ensuite, des études de laboratoire mettent en avant une cause probable de résistance (durcissement plus rapide de l'albumen). Enfin, des croisements sont réalisés dont sera issue la variété CIRAD 441 qui montre un bon compromis entre résistance aux insectes paniculaires et performance agronomique. Entre temps, des études seront initiées afin de chercher les bases génétiques de ces résistances, par génétique quantitative et outils moléculaires. Bien que non encore capables d'assister les travaux de sélection, des QTL ont été trouvés. D'autre part, une recherche sur les dispositifs d'essais apporte des éléments très utiles à l'évaluation des tests de terrain menés par les sélectionneurs. Enfin, l'auteur développe le concept de la gestion des ravageurs par des techniques culturales et un aménagement de l'environnement, avançant qu'une action au niveau de l'agroécosystème, voire d'un environnement plus large, peut être préférable à d'autres techniques de contrôle, dans les trois situations diversifiées précitées. La résistance, pour conserver un caractère permanent, doit s'envisager dans le contexte global des systèmes de culture d'autant que les pressions socio-économiques et environnementales nécessitent une modification de ces systèmes. Des systèmes de culture durables par rapport aux attaques de ces ravageurs peuvent être développés, particulièrement des systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale (SCV), qui reproduisent les principes de la résistance de la plante-hôte au niveau de l'agroécosystème. L'auteur conclut par une analyse critique des travaux présentés, avec une discussion globale sur le choix des variables et celui des niveaux d'échelle d'étude tant spatiale que temporelle ; l'analyse des interactions est abordée tant au niveau des relations plantes-insectes qu'à celui du système cultural replacé dans le contexte plus général des écosystèmes. Des perspectives sont présentées en terme de projets de recherche, notamment par la proposition de deux sujets de thèses que l'auteur pourrait encadrer, et qui s'inscrivent dans la perspective de compréhension des phénomènes d'interaction entre des plantes et des insectes pour la première et entre des plantes, des insectes, des milieux et des systèmes de culture pour l'autre.

Mots-clés : punaise paniculaire ; foreur des tiges ; ver blanc ; sorgho ; riz ; résistance ; tolérance ; agroécologie

Summary

The various forms of herbivore insect-plant relations can be classified in terms of resistance or susceptibility according to the direction one or the other actor is affected (either positively or negatively). Although it has often been the cornerstone of integrated insect pest management programs, host-plant resistance alone shows limitations and other options have to be explored, in view of achieving agroecosystem resistance. Instances are provided, based on the situations and biological models studied by the author namely: (i) Host-plant resistance of rainfed sorghum to panicle-feeding bugs in West and central Africa; (ii) Tolerance of transplanted sorghum to stem borers in northern Cameroon; and (iii) Rainfed rice-based agroecosystem resistance to soil pests in Madagascar. Research description is organized around the various forms of plant-insect relationships by moving along study scales (space- and complexity-wise), from the plant to the cropping system level. Starting from classical bioecological studies conducted at the field level (with original aspects such as: insect colour linked to grain colour; correlation between damage due to bugs and to grain moulds; existence of alternate hosts), it continues with a more in-depth analysis of the relationship between sorghum and its panicle pests (characterization and utilization of host plant resistance). First, a series of multilocal agronomic tests deepen the knowledge of these relationships between a set of sorghum cultivars and its pests (kind and level of damage; economic losses). Then, laboratory studies put forward a likely cause of resistance (quicker endosperm hardening). Lastly, crosses are made which will result in the release of sorghum cultivar CIRAD 441 which combines panicle pest resistance with desirable agronomic traits. Meanwhile, studies have been initiated in view of investigating the genetic bases of these resistances, both by quantitative and molecular methods. QTLs have been found, although they are not yet able to assist breeding process. On the other hand, a study on experimental designs provides useful results for evaluating field tests by plant breeders. Finally, the author develops the concept of pest management via cultural techniques and landscape management, stressing that an action at the agroecosystem level, or even at a wider environmental level, may be preferable to other management options, in the three above-cited contrasted situations. Resistance, if it is to be sustainable, must be envisaged in the global context of cropping systems, particularly since socio-economic and environmental pressure call for an alteration of these systems. Sustainable cropping systems vis-à-vis damage by these pests can be developed, particularly Direct-seeded mulch-based cropping systems (DMC), which reproduce the principles of host-plant resistance at the agroecosystem level. The author concludes with a critical analysis of his results, with a global discussion on the choices of variables and levels of scales, both spatial and temporal; interaction analysis is also addressed at both plant-insect relationships and cropping system levels, the latter being placed in the more general context of agroecosystems. Prospects are presented in terms of research projects, notably by proposing two thesis topics for PhD students that the author could supervise, which fall in the prospect of understanding plant-insect interaction phenomena for the former, and plant-insect-environment-cropping system interaction for the latter.

Key words: panicle bug; stem borer; white grub; sorghum; rice; resistance; tolerance; agroecology

Acronymes & abréviations

2PI :	Pathologie et protection intégrée (CIRAD)
AECI :	<i>Agencia espanola de cooperacion internacional</i>
AGC :	Aptitude générale à la combinaison
ASJA :	Athénée Saint-Joseph Antsirabe (Madagascar)
ATP :	Action thématique programmée (CIRAD)
Bt :	<i>Bacillus thuringiensis</i>
CIRAD :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France)
CNESOLER :	Centre nationale de l'énergie solaire et des energies renouvelables (Mali)
COCEROG :	Coopérative des céréales et oléagineux de Guyane
DAA :	Diplôme d'agronomie approfondie
DMC :	<i>Direct-seeded , mulch-based, cropping system</i> (=SCV)
DOS :	<i>Days after sowing</i> (=JAS)
ESA :	Eau Sol Arbre (Projet SODECOTON)
FAO :	<i>Food and Agricultural Organization</i> (ONU)
FIDA:	Fonds international de développement agricole (Rome)
FOFIFA (= CENRADERU) :	Centre national de la recherche appliquée au développement rural (Madagascar)
G X E :	(interaction) génotype X environnement
HR :	Humidité relative
ICIPE :	<i>International Centre of Insect Physiology and Ecology</i> (Nairobi)
ICRISAT :	<i>International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics</i> (Hyderabad)
IER :	Institut d'économie rurale (Mali)
IFRA :	Institut de formation et de recherche appliquée (Mali)
INA-PG :	Institut national agronomique Paris-Grignon (France)

INERA :	Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Burkina Faso)
INRA :	Institut national de la recherche agronomique (France)
INRAN :	Institut national de recherches agronomiques du Niger
INSA :	Institut national des sciences appliquées (France)
INTSORMIL:	<i>International Sorghum and Millets Collaborative Research Support Program</i> (USA)
IPM :	<i>Integrated Pest Management</i> (=Gestion intégrée des ravageurs)
IPR :	Institut polytechnique rural de Katibougou (Mali)
IRAT :	Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (France)
IRD :	Institut de recherche pour le développement (ex-ORSTOM)(France)
ISDR :	Institut Supérieur du Développement Rural de M'Baïki (République centrafricaine)
JAS :	Jours après semis
LOD score :	<i>Logarithm of odds</i> (logarithme de la probabilité de liaison entre deux loci)
LOMACO :	<i>Lonrho-Mozambique Agricultural Company</i>
MAAPAR:	Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales (France)
MIDEC :	Mission défense des cultures (CIRAD)
MSIRI :	<i>Mauritius Sugar Industry Research Institute</i>
NCRE :	<i>National Cereals Research and Extension Project</i> (Cameroon)
OGM :	Organisme génétiquement modifié
ONU :	Organisation des nations unies
PCP :	Pôle de compétence en partenariat
PCRD :	Programme cadre de recherche et de développement (Union européenne)
QTL :	<i>Quantitative Trait Locus</i> (locus à effets quantitatifs)

RFLP :	<i>Restriction Fragment Length Polymorphism</i> (Polymorphisme de longueur des fragments de restriction)
RIAP :	Réseau Interactions Arthropodes-Plantes (France)
ROCARS :	Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Sorgho (USAID/ICRISAT)
SARI :	<i>Savanna Agricultural Research Institute</i> (Ghana)
SCRiD :	Systèmes de culture et rizicultures durables (URP CIRAD)
SCV :	Semis direct sur couverture végétale
SNRA :	Service national de recherché agricole
SODECOTON :	Société de développement du coton au Cameroun
UCBL1 :	Université Claude-Bernard Lyon 1 (France)
UMR :	Unité mixte de recherche
UPR :	Unité propre de recherche
UR :	Unité de recherche
URP :	Unité de recherche en partenariat
USAID :	<i>United States Agency for International Development</i>
VITA :	<i>Volunteers in Technical Assistance</i> (USA)
WASIP :	<i>West African Sorghum Improvement Program</i> (ICRISAT)
WCASRN :	<i>West and Central Africa Sorghum Research Network</i> (=ROCARS)

Avant-propos

Au terme de mon parcours, il ne m'est malheureusement pas possible ici, au risque d'en oublier, de citer individuellement tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail d'HDR.

J'adresse donc mes remerciements collectifs à tous mes collègues des systèmes nationaux de recherche d'Afrique et de l'Océan indien, de l'ICRISAT, de l'INRA, de l'IRD, et bien sûr du CIRAD.

Je tiens à remercier Gérard Febvay, Frédéric Fleury, Simon Grenier, Benoît Sauphanor, Jean-François Silvain, Jean-Michel Thomas et Bernard Vercambre d'avoir bien voulu participer au jury de mon HDR.

Que Jean-François Silvain, Jean-Michel Thomas et Bernard Vercambre trouvent tout particulièrement mon estime et ma reconnaissance pour avoir accepté d'en être rapporteurs.

Une mention toute spéciale pour Simon (senior), pour avoir porté ma candidature auprès de l'INSA et de l'Université Claude-Bernard Lyon 1, et m'avoir encouragé à aller jusqu'au bout de cette démarche.

A Dahnum et Simon (junior),

A mes parents.

Table des matières

RESUME	2
SUMMARY	3
ACRONYMES & ABREVIATIONS	4
AVANT-PROPOS	7
INTRODUCTION.....	10
1 PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU CANDIDAT	12
1.1 ETAT CIVIL.....	13
1.2 GRADES ET TITRES	14
1.3 FORMATIONS COMPLEMENTAIRES	15
1.3.1 <i>En animation/gestion de la recherche</i>	15
1.3.2 <i>A la rédaction scientifique</i>	15
1.4 ENCADREMENTS	16
1.4.1 <i>Stages diplômants de fin d'études : niveau Technicien supérieur</i>	16
1.4.2 <i>Stages diplômants de fin d'études : niveau Ingénieur</i>	17
1.4.3 <i>Masters</i>	19
1.4.4 <i>Thèses</i>	19
1.5 COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES	20
1.5.1 <i>De 1989 à 2000</i>	20
1.5.2 <i>Depuis 2000</i>	20
1.6 PRINCIPAUX CONTRATS DE RECHERCHE.....	21
1.7 PRINCIPALES MISSIONS D'EXPERTISE ET D'APPUI LIEES A LA RECHERCHE.....	22
1.8 GESTION/ANIMATION SCIENTIFIQUE	23
1.9 PRINCIPALES FORMATIONS ASSUREES.....	23
1.10 PRINCIPALES CONFERENCES INVITEES	24
1.11 EDITION D'OUVRAGES	25
1.12 EVALUATIONS D'ARTICLES SCIENTIFIQUES	25
1.13 ORGANISATION DE SEMINAIRES/CONFERENCES	26
1.14 PUBLICATIONS	27
1.14.1 <i>Thèses & Mémoires</i>	27
1.14.2 <i>Ouvrages (éditeur)</i>	27
1.14.3 <i>Chapitres d'ouvrages</i>	27
1.14.4 <i>Articles de revues à facteur d'impact</i>	28
1.14.5 <i>Article de revues à comité de lecture sans facteur d'impact</i>	29
1.14.6 <i>Autres articles de périodiques</i>	30
1.14.7 <i>Congrès nationaux et internationaux</i>	31
2 DEUXIEME PARTIE : DESCRIPTIF DES ACTIVITES DE RECHERCHE	40
2.1 CHAPITRE 1. PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE BIOECOLOGIQUE ET DES DIFFERENTES SITUATIONS ETUDIEES	41
2.1.1 <i>La problématique</i>	41
2.1.2 <i>Les situations étudiées</i>	47
2.1.3 <i>Approche et démarche adoptées</i>	52
2.2 CHAPITRE 2. ETUDES BIOECOLOGIQUES DE BASE SUR LES PUNAISES DES PANICULES DE SORGHOS	53

2.2.1	<i>Biologie des punaises des panicules sur le sorgho.....</i>	53
2.2.2	<i>Effet des paramètres climatiques sur la dynamique des populations de punaises sur sorgho</i>	53
2.2.3	<i>Hôtes alternatifs des punaises du sorgho.....</i>	58
2.2.4	<i>Entomofaune auxiliaire en système de culture sorghicole</i>	59
2.2.5	<i>Effet de la couleur des grains de sorgho sur celle des punaises</i>	60
2.3	CHAPITRE 3. CARACTERISATION ET UTILISATION DES RESISTANCES VARIETALES AUX INSECTES : CAS DES RAVAGEURS PANICULAIRES DU SORGHO EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE.....	62
2.3.1	<i>Caractérisation de différentes formes de réaction variétale du sorgho aux punaises.....</i>	62
2.3.2	<i>Caractérisation de l'interaction punaises-moisissures et de l'effet des paramètres climatiques sur les moisissures du grain</i>	66
2.3.3	<i>Caractérisation d'un facteur probable de résistance variétale du sorgho aux punaises</i>	68
2.3.4	<i>Utilisation des résistances variétales aux punaises</i>	70
2.4	CHAPITRE 4. MISE EN EVIDENCE ET EVALUATION D'OPTIONS DE GESTION CULTURALE DES INSECTES RAVAGEURS DES CEREALES TROPICALES.....	76
2.4.1	<i>Gestion des populations de punaises sur le ricin pour réduire l'infestation du sorgho.....</i>	76
2.4.2	<i>Effet des pratiques culturales sur les dégâts des foreurs de tiges du sorgho Muskuwaari</i>	79
2.4.3	<i>Caractérisation des interactions insectes ravageurs/systèmes de culture à base de riz pluvial à Madagascar.....</i>	80
2.5	CHAPITRE 5. DISCUSSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	85
2.5.1	<i>Les limites des travaux présentés</i>	85
2.5.2	<i>Perspectives de recherche.....</i>	94
2.6	REFERENCES CITEES	99

Introduction

Ce mémoire pour l'obtention d'une habilitation à diriger des recherches est structuré en deux parties. La première concerne la présentation de mon cursus, des encadrements, des animations scientifiques, des collaborations et des publications que j'ai réalisés¹. La suivante couvre la partie de mes recherches qui ont concerné divers aspects des interactions plante/insecte.

A partir de mon stage de diplôme d'agronomie approfondie (DAA), puis dans le cadre de ma thèse de docteur-ingénieur, enfin dans celui de mes travaux post-doctoraux, les thématiques abordées et les modèles biologiques utilisés comme supports se sont diversifiés, ainsi que les approches que j'ai développées.

Dans le cadre de mon stage de DAA, j'ai étudié le rôle des substances phénoliques dans la résistance variétale du pêcher *Prunus persica* au puceron vert *Myzus persicae*, me concentrant sur l'effet de la plante sur l'insecte. Nos travaux ont mis en évidence une activité plus importante de l'extrait phénolique des feuilles apicales de la variété résistante par rapport à ceux de la variété sensible, et une augmentation de l'activité des extraits des deux variétés de mai (pic de l'infestation par les morphes aptères) à juillet (période où les morphes ailées quittent les arbres) [cf. 1.14.1.1 ; 1.14.6.1].

Ensuite, ma recherche s'est plutôt intéressée à l'effet de l'insecte sur la plante. Ainsi les études que j'ai menées dans le cadre de ma thèse sur les Coléoptères et Lépidoptères ravageurs des stocks de céréales en Côte d'Ivoire (riz : *Oryza sativa* ; et maïs : *Zea mays*) et République centrafricaine (maïs et sorgho : *Sorghum bicolor*) et que j'ai ensuite poursuivies sur sorgho au Mali, ont surtout concerné l'estimation des dégâts occasionnés par ces insectes sur lesdites denrées. Elles m'ont aussi permis d'appréhender à la fois le potentiel et les limites de la résistance variétale dans ces écosystèmes particuliers, « simplifiés » par rapport aux agroécosystèmes [1.14.1.2 ; 1.14.7.1 ; 1.14.7.3 ; 1.14.7.8 ; 1.14.5.3 ; 1.14.4.4].

Cet aspect de l'interaction a également prévalu dans les études qui constituent le cœur du travail présenté dans ce mémoire, celles que nous avons menées sur les punaises piqueuses des grains de sorgho au Mali et au Burkina Faso [1.14.4.1 ; 1.14.7.9 ; 1.14.7.12 ; 1.14.7.14 ; 1.14.7.28 ; 1.14.4.6 ; 1.14.5.7 ; 1.14.4.8 ; 1.14.4.7 ; 1.14.5.8 ; 1.14.6.11 ; 1.14.4.9], et dans une

¹ Les appels à références dans le texte concernent d'une part la liste de publications présentée en 1^{ère} partie, sous forme de N° de § 1.14.1.1 à 1.14.7.43 pour mes propres travaux, et d'autre part la liste bibliographique présentée en fin de document (§2.6), sous forme classique, pour la littérature que j'ai consultée

moindre mesure sur les foreurs des tiges de cette céréale au Nord-Cameroun [1.14.6.10]. Pour ce dernier « modèle », mais également en ce qui concerne les punaises du sorgho, un regard a été porté sur les interactions plantes-insectes dans l'ensemble de l'agroécosystème et même de l'écosystème en général, au-delà de la seule culture principale [1.14.6.10 ; 1.14.7.27 ; 1.14.7.16 ; 1.14.4.2 ; 1.14.6.6 ; 1.14.6.7].

Depuis, dans nos recherches sur les Scarabaeidae ravageurs du riz pluvial à Madagascar, c'est à nouveau la composante complémentaire de l'interaction qui prévaut, à savoir comment les caractéristiques de la plante et, au-delà, le système de culture et sa gestion, peuvent avoir une influence sur l'insecte, son comportement et au final son impact sur la plante cultivée [1.14.7.41 & 1.14.7.43].

1 Première partie : Présentation du candidat

1.1 Etat civil

NOM : RATNADASS

PRENOM : Alain

DATE ET LIEU DE NAISSANCE : 11/06/1959 à Pondichéry (Inde)

NATIONALITE : Française

SITUATION FAMILIALE : Marié, 1 enfant

ADRESSE PERSONNELLE :

Villa N°19, Cité Mahatazana, Ampandrianomby, Antananarivo 101, Madagascar

ADRESSE PROFESSIONNELLE ACTUELLE :

- Géographique : Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département d'Entomologie, Campus d'Ambohitsaina, Antananarivo, Madagascar
- Postale : CIRAD, BP 853, Antananarivo 101, Madagascar

Téléphone : +261 (0) 32 07 235 14

E mail : ratnadass@cirad.mg

1.2 Grades et Titres

Depuis le 1^{er} janvier 2005 : Chef de l'unité de recherche en partenariat (URP) « Systèmes rizicoles pluviaux » du CIRAD; En poste au Département d'entomologie, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, depuis le 1^{er} septembre 2006

- *Cadre à responsabilité élargie (catégorie 8) au CIRAD depuis 2002*
- *Chercheur en entomologie agricole tropicale au CIRAD depuis 1988*

2001-2004 : Coordonnateur du Pôle de compétences en partenariat (PCP) Université d'Antananarivo-FOFIFA-CIRAD « Systèmes de culture et rizicultures durables » (SCRiD) depuis 2001.

1989-2000 : Chercheur principal (entomologie), ICRISAT-CIRAD, Mali

1987 : Thèse de docteur-Ingénieur en sciences agronomiques de l'Institut national agronomique Paris-Grignon (INA-PG). Thèse soutenue en octobre 1987 sur le thème : « Dynamique des populations d'insectes ravageurs des stocks de céréales en milieu villageois d'Afrique tropicale » (Directeur de thèse Professeur G. Strebler, INA-PG).

1984-1988 : Spécialiste du stockage des grains, Volunteers in Technical Assistance (VITA), République centrafricaine

1983-1984 : Volontaire du service national (entomologie), ORSTOM, Côte d'Ivoire

1982 : Ingénieur agronome de l'INA-PG. Mémoire de Diplôme d'Agronomie approfondie (DAA) soutenu en septembre 1982 sur le thème : « Aspects morphogénétiques et bases chimiques de la résistance du pêcher *Prunus persica* (L.) Batsch. au puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulzer » (Maître de stage G. Massonié, INRA, Bordeaux).

1977 : Lycée de Grand Air (Arcachon, 33). Baccalauréat Série C (Mention Bien).

1.3 Formations complémentaires

1.3.1 En animation/gestion de la recherche

- Project Team Leader Training Course (O'Hare Associates Inc., ICRISAT, Niamey, 1994 : 5 jours) ;
- Atelier de définition d'une méthodologie de pilotage d'unité de recherche finalisée (Philippe Portier, EM Lyon/CIRAD, Résidence d'Ankerana, Antananarivo, 2004 : 3 jours) ;
- Séminaire de formation/action des chefs d'unités de recherche CIRAD (Alain Cardon & Martine Volle, Metasysteme, Agropolis, Montpellier, 2004 : 2 jours) ;
- Formation à la construction d'un projet scientifique (Marie-Claude Rolland, INRA, CIRAD, Montpellier, 2004 : 4 jours).

1.3.2 A la rédaction scientifique

- Communication scientifique et professionnelle en Anglais et Français (Gary Burkhart, Techsicom, Antananarivo, 2006 : 5 jours)

1.4 Encadrements

1.4.1 Stages diplômants de fin d'études : niveau Technicien supérieur

Etablissement	Année	Nom	Thème
Institut polytechnique rural (IPR) de Katibougou (Mali)	1991	Abdel Kader IBRAHIM	Etude de la dynamique des populations de la punaise des panicules de sorgho <i>Eurystylus immaculatus</i> à Samanko
	1992	Fousseyni TRAORE	Etude de l'effet d'associations culturales sur l'infestation du sorgho par les insectes ravageurs
	1993	Housseyni Mahamane MAÏGA	Inventaire systématique des insectes associés à une réserve d'entomofaune. Dynamique des populations de Lépidoptères foreurs de tiges de sorgho et piégeage sexuel de <i>Busseola fusca</i>
	1993	Mamadou Lamine SANGARE	Etude de la dynamique des populations des punaises des panicules de sorgho et piégeage sexuel de <i>Helicoverpa armigera</i>
	1997	Mamadou DIABATE	Evaluation phénotypique d'une population F2 et descendances F3 de croisements entre variétés résistantes et sensibles aux punaises en vue de la cartographie moléculaire des gènes de résistance
Athénée Saint-Joseph Antsirabe (ASJA) (Madagascar)	2004	Maximin Yves RABEARISOA	Incidence et dégâts des insectes terricoles (vers blancs et scarabées noirs) sur les cultures pluviales dans la région du Vakinankaratra)
Département d'entomologie, Université d'Antananarivo (Madagascar)	2005	Tahina Ernest RAJAONERA	Rôle de la macrofaune auxiliaire sur l'attaque du riz pluvial par les insectes terricoles en système de cultures avec semis direct sur couverture végétale (SCV)
	2006	Memy Malala Heriniaina ANDRIAMIZEHY	Caractérisation de l'entomofaune terricole épigée et notation des dégâts occasionnés par les ravageurs sur une parcelle de riz pluvial (Région du Lac Alaotra)

1.4.2 Stages diplômants de fin d'études : niveau Ingénieur

Etablissement	Année	Nom	Thème
Institut supérieur du développement rural (ISDR) de M'Baïki (République centrafricaine)	1985	Fidèle NGBANGAMON	Pertes post-récolte occasionnées par les rongeurs au niveau de villages de la République centrafricaine
	1986	Antoine MOKOMBO	Amélioration des techniques de stockage des vivriers en vue de la réduction des pertes occasionnées par les rongeurs
	1987	Samson KOYABAY	Etude des problèmes biologiques liés au stockage villageois des arachides
Institut polytechnique rural (IPR) de Katibougou (Mali)	1990	Siaka BERTE	Estimation des pertes occasionnées par les insectes ravageurs des stocks de sorgho au niveau de villages du Mali
	1991	Alpha BALOBO	Contribution à l'étude de la résistance du sorgho à deux de ses principaux ravageurs en Afrique de l'Ouest: <i>Busseola fusca</i> et <i>Rhyzopertha dominica</i>
	1993	Kadiatou MALLE	Etude de la biologie des punaises mirides des panicules de sorgho, et criblage variétal du sorgho pour sa résistance à un foreur des tiges et à un ravageur des stocks
	1995	Mamadou SYLLA	Etude de la dynamique des populations de <i>Busseola fusca</i> et de la rupture de sa diapause
	1995	Tiéoura TRAORE	Elevage en masse de <i>Busseola fusca</i> , infestation artificielle et criblage variétal du sorgho pour la résistance à ce foreur des tiges
	1996	Mamadou Fotiguy COULIBALY	Etude de la génétique de la résistance du sorgho aux punaises des panicules

Stages diplômants de fin d'études : niveau Ingénieur (suite et fin)

Etablissement	Année	Nom	Thème
Institut polytechnique rural (IPR) de Katibougou (Mali)	1996	Mahamane Boury MASSA	Etude en milieu paysan (Mali) de l'infestation et des dégâts comparés des punaises des panicules sur variétés de sorgho Guinea et Caudatum, et en grandes et petites parcelles
	1997	Abdoulaye NDIAYE	Développement de composantes de la lutte intégrée contre <i>Busseola fusca</i> , foreur des tiges de sorgho en Afrique de l'Ouest
	1997	Sory CISSE	Etude au niveau paysan de l'effet de la variété de sorgho cultivée sur l'infestation et les dégâts de punaises des panicules
	1998	Thiékkoura CISSE	Evaluation du statut des punaises et des insectes des stocks comme contraintes entomologiques à l'adoption des variétés de sorgho améliorées par les paysans du cercle de Kolokani (Mali)
	1998	Sékou Souleymane TRAORE	Développement en milieu paysan (dans le cercle de Kolokani) de techniques de lutte intégrée contre les punaises des panicules de sorgho fondées sur la gestion d'une plante hôte alternative, la date de semis et la résistance variétale de la plante cultivée
	1999	Soriba CISSE	Lutte intégrée contre les punaises des panicules de sorgho fondée sur la gestion d'une plante hôte alternative, la date de semis et la résistance variétale de la plante cultivée
Ecole supérieure d'agriculture d'Angers (France)	1994	Luc MENGUAL	Extraction de substances bioactives de l'huile de Pourghère (<i>Jatropha curcas</i> L.) et bioessais sur <i>Zonocerus variegatus</i> , <i>Sesamia calamistis</i> et <i>Busseola fusca</i> pour la caractérisation d'un effet insecticide en zone sahélienne
Athénée Saint-Joseph Antsirabe (ASJA) (Madagascar)	2006	Maximin Yves RABEARISOA	Effet du mode de gestion des sols et des systèmes de culture sur les vers blancs en culture pluviale

1.4.3 Masters

- Tariro Theodora MAVENGERE (Masters Université NORAGRIC, Norvège, 1998) “Integrated pest management of sorghum and groundnuts in Yélimané Circle, North-west Mali” : Field supervisor ;
- Marlene KRUGER, (Masters in Environmental Sciences, North-West University, Potchefstroom, Afrique du sud, 2006) “Seasonal abundance and diversity of sorghum panicle-feeding Hemiptera in South Africa”: External Examiner.

1.4.4 Thèses

- Co-encadrement et participation au comité et au jury de soutenance de la thèse (à l'INSA/UCBL 1), de Mme BOGUEL Ketura Djimadounngar, enseignant-chercheur de l'Université de Ndjamen (Faculté des sciences exactes et appliquées), réalisée en alternance au Tchad et à l'UMR INRA/INSA Biologie fonctionnelle, insectes et interactions (Lyon) de 1997 à 2001, sur le thème : « Inventaire et cycles biologiques des Lépidoptères foreurs des tiges du sorgho et de leurs principaux parasitoïdes dans la région de N'Djamena (Tchad) » ;
- Co-encadrement de la phase finale de la thèse d'état (avec l'Université de Cocody/Abidjan) d'un enseignant-chercheur de cette université, M. Patrice Goualé-Tokro, réalisée en alternance en Côte d'Ivoire et au CIRAD à Montpellier depuis 2001, sur le thème : « Résistance du sorgho aux foreurs de tiges » (candidat décédé en 2006) ;
- Co-encadrement et participation au comité de la thèse d'un chercheur entomologiste du FOFIFA (inscrit à l'Université d'Antananarivo), M. Richard Randriamanantsoa, depuis 2003 sur le thème : « Etude de la bioécologie et de la dynamique des populations d'*Heteronychus* sp, et *Heteroconus* sp, et de leurs organismes associés dans la région du Vakinankaratra » ;
- Participation au comité de la thèse d'un chercheur biologiste des sols du FOFIFA (inscrit à l'Université d'Antananarivo) depuis 2003, sur le thème : « Impact des modes de gestion du sol (semis direct sur couverture végétale et labour) et de la fertilisation sur la macrofaune et la microflore des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar ».

1.5 Collaborations scientifiques

1.5.1 De 1989 à 2000

- Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho (ROCARS/WCASRN) ;
- Réseau des entomologistes-céréales de l'ICRISAT (avec Drs K.F. Nwanze, H.C. Sharma, S.L. Taneja, O. Ajayi & O. Youm) ;
- International Sorghum and Millets Collaborative Research Support Program (Intsormil) : particulièrement avec Prof. George L. Teetes (Texas A&M University)

1.5.2 Depuis 2000

- Réseaux IPM du CIRAD (dans le cadre du champ disciplinaire MIDEDEC/2PI) :
 - Coordination de la rédaction d'un chapitre dans l'ouvrage « IPM in the Global Arena » publié à l'initiative de Prof. Karim Maredia, Michigan State University ;
 - Contributions à réponses aux appels à Actions thématiques programmées (ATP) du CIRAD, avec élargissement à l'UR R072 de l'IRD (P. Moyal, B. Le Rü) ;
- Réseau « Agroécologie » (Systèmes de culture avec semis direct sur couvertures végétales) du CIRAD :
 - Coordination de la rédaction d'un chapitre dans l'ouvrage « Biological Strategies for Sustainable Soil Systems » publié à l'initiative de Prof. Norman Uphoff, Cornell University ;
 - Mission d'expertise en Afrique du Sud
- Réseau Interactions Arthropodes-Plantes (RIAP) :
 - Participation aux 6^è Journées du groupe de travail relations insectes-plantes (Lusignan 1997) ;
 - Echanges scientifiques sur les méthodes d'étude des barrières physiques comme mécanismes de résistance variétale entre CIRAD (B. Vercambre, G. Fliedel, R. Goebel), INSA/INRA (S. Grenier, G. Febvay) et Université d'Abidjan (P. Tokro) ;
 - Coordination de la rédaction d'un chapitre dans l'ouvrage « Des plantes et des insectes » en chantier à l'initiative du RIAP

- Initiation d'un réseau sur la gestion agroécologique des ravageurs des cultures dans l'Océan indien, avec l'Université d'Antananarivo et le FOFIFA (Madagascar), le MSIRI (Maurice), le CIRAD-Réunion, les universités du North-West, du Kwazulu-Natal et de Stellenbosch (Afrique du Sud) :
 - Réponse à plusieurs appels d'offres

1.6 Principaux contrats de recherche

- de 2003 à 2006, Participant au projet de coopération entre Madagascar et La Réunion sur l'amélioration et la protection (lutte intégrée) des systèmes de culture à base de riz pluvial du Conseil régional de la Réunion ; financement 33 K€
- de 1996 à 2000, Coordonnateur du Projet INCO-DC N°18-CT96-0106 de la Commission européenne sur la lutte intégrée contre les ravageurs du sorgho au Mali et au Burkina Faso (5 partenaires : IER & CNESOLER, Mali ; INERA, Burkina Faso ; Université d'Heidelberg, Allemagne ; CIRAD, France) ; financement 480 K€
- de 1995 à 1997, Coordonnateur du Projet régional Sorgho (Phase II) de la Coopération française (4 chercheurs CIRAD affectés à l'ICRISAT-Mali) ; financement 3 000 KF

1.7 Principales missions d'expertise et d'appui liées à la recherche

- Mai 2005 (1 semaine) : Appui auprès du Kwazulu Natal No-Till Club (Afrique du Sud) :
 - Identification de voies potentielles de rupture des cycles des maladies et insectes ravageurs du maïs, du blé et du soja conduits actuellement en « zéro-labour », par l'approche « IPM en SCV » ;
 - Identification de projets de recherche collaboratifs entre l'Afrique du Sud et le CIRAD.
- Septembre 2003 (1 semaine) & Février 2004 (1 semaine) : Appui auprès du projet ESA/SODECOTON (Cameroun) :
 - Diagnostic de l'impact des populations de foreurs des tiges sur la production de sorgho muskuwaari et évaluation de méthodes de lutte ;
 - Analyse des dispositifs expérimentaux de la campagne 2003/2004.
- Juillet 2000 (1 semaine) : Appui auprès de la COCEROG (Guyane française)
 - Mise en place d'un protocole visant à confirmer l'identification des ravageurs et auxiliaires sur le périmètre rizicole de Mana et la constitution d'une collection de référence ;
 - Evaluation de l'efficacité du système/réseau de suivi des infestations de ravageurs mis en place.
- Octobre 1997 (10 j) : Cameroun-Tchad-Nigeria & Septembre 1998 (10 j) : Ghana-Togo-Bénin dans le cadre du ROCARS :
 - Evaluation des projets de recherche compétitifs financés par le ROCARS dans ces pays.
- Avril 1998 (1 semaine): Appui auprès de la LOMACO (Mozambique)
 - Estimation des pertes post-récolte sur les produits vivriers (surtout maïs et manioc) stockés en greniers villageois dans la province du Cabo Delgado ;
 - Mise en place de tests de protection des produits stockés.
- Diverses missions d'appui entomologique à chercheurs du CIRAD : au Togo (Octobre 1991), au Sénégal (Octobre 1992) et au Burkina Faso (Octobre 1994).

1.8 Gestion/Animation scientifique

- Coordination du Pôle de compétence en partenariat "Systèmes de culture et rizicultures durables" (PCP SCRiD) qui associe le CIRAD (avec 6 chercheurs affectés) au FOFIFA et à l'Université d'Antananarivo à Madagascar, depuis 2001, Gestion de l'UR CIRAD correspondante depuis 2005 : unité évaluée en janvier 2006 ;
- Coordination d'un Projet INCO-DC de la Commission européenne sur la lutte intégrée contre les ravageurs du sorgho au Mali et au Burkina Faso de 1996 à 2000 (5 partenaires : IER & CNESOLER, Mali ; INERA, Burkina ; Université d'Heidelberg, Allemagne ; CIRAD, France) ;
- Présidence du groupe de travail sur la lutte contre les nuisibles du Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho (ROCARS/WCASRN) de 1996 à 2000 ;
- Coordination de l'équipe CIRAD (4 chercheurs) du Programme conjoint de recherche sur le sorgho ICRISAT-CIRAD au Mali de 1995 à 1997.

1.9 Principales formations assurées

Discipline/Thème	Année	Niveau	Organisme	Durée
Stockage des vivriers	1983	Ingénieur	Institut agricole de Bouaké (Côte d'Ivoire)	8 heures
Entomologie agricole	1994	Chercheur	ICRISAT (Mali)	10 jours
Entomologie agricole	1995	Technicien supérieur	Compagnie malienne des textiles (Mali)	3 jours
Entomologie agricole	1996	Ingénieur	ICRISAT & ROCARS (Mali)	10 jours
Rédaction scientifique	2006	DEA/Thèse	Université de Tuléar (Madagascar)	3 jours

1.10 Principales conférences invitées

- 2005 : “IPM and its possible uses by and advantages to conservation agriculture in South Africa” (Agricultural Research Council/North West University, Potchefstroom, Afrique du Sud) ;
- 2005 : “CIRAD’s DMC approach (with particular reference to pest management) and its possible application to no-tillage farming in South Africa” (University of Natal, Pietermaritzburg, Afrique du Sud) ;
- 2004 : « Les OGM en agriculture : avantages et inconvénients pour les pays en développement » (Quinzaine scientifique “Regards sur la science”, Alliance française, Antsirabe, Madagascar) ;
- 2003 : Le Pôle de compétence en partenariat (PCP) "Systèmes de culture et rizicultures durables" (SCRiD) Université d'Antananarivo/FOFIFA/CIRAD à Madagascar : Stratégie de développement durable et approche de coopération régionale (Séminaire Développement durable et Coopération régionale, MAAPAR – Région Réunion, St-Paul, Ile de la Réunion) ;
- 2001 : « Les insectes ravageurs des sorghos repiqués ou cultivés en conditions de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre » (Colloque FAO-AECI, Nouakchott, Mauritanie) ;
- 1999 : « Expérience des approches participatives de l'ICRISAT-Mali » (Colloque FIDA-ICRISAT, Niamey, Niger) ;
- 1994 : "Sorghum resistance to head-bugs in West Africa” (Agricultural Research Council/University of Potchefstroom, Potchefstroom, Afrique du Sud) ;
- 1992 : "Résistance des plantes aux insectes » (Séminaire de formation/réflexion scientifique, Centre Djoliba, Bamako, Mali) ;
- 1991: « The IRAT Sorghum Program: Highlights and Areas for Interaction with INTSORMIL” (Conférence INTSORMIL, Corpus Christi, Texas, USA).

1.11 Edition d'ouvrages

Editeur principal de deux ouvrages :

- **Ratnadass, A.**, Ajayi, O., Marley, P.S. & Akintayo, I. (eds.) 2001. Les insectes ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre - Insect pests of sorghum in West and Central Africa. Actes de l'atelier de formation - Proceedings of training workshop, ROCARS-ICRISAT-CIRAD, 14-23 Oct 1996, Samanko, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: CIRAD. ISBN 2-87614-446-8. CD-ROM ;
- **Ratnadass, A.**, Chantereau, J. & Gigou, J. (eds.). 1998. Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (17-20 Mar 1997, Bamako, Mali). Collection Colloques, Montpellier, France: CIRAD. ISBN 2-87614-304-6. 315 p.

1.12 Evaluations d'articles scientifiques

Lecteur-arbitre pour plusieurs journaux internationaux depuis 1995.

Détail des manuscrits évalués de janvier 2005 à janvier 2007

Journal	Editeur	N° manuscrit	Date de soumission
Euphytica	Springer	EUPH507	31/01/2005
		EUPH646	10/04/2005
		EUPH913	24/09/2005
		EUPH1357	21/07/2006
European Journal of Soil Biology	Elsevier	EJSOBI-D-05-00029	25/05/2005
		EJSOBI-D-05-00033	16/03/2006
Crop Protection	Elsevier	CROPRO-D-07-00024	15/01/2007
Cahiers Agricultures	Johnn Libbey	rubrique "Options"	24/02/2005
		caa060012	31/01/2006
International Journal of Tropical Insect Science	CABI	MS 2788	23/05/2005

1.13 Organisation de séminaires/conférences

- Organisation locale de la Réunion de coordination phytosanitaire Cultures annuelles-Afrique de l'Ouest (Bamako, Mali, 20-24 février 1995)

- Organisation de l'Atelier final CIRAD-ICRISAT/WASIP (Bamako, Mali, 1997) :

Cet atelier, qui s'est tenu à Bamako du 17 au 20 mars 1997, a marqué la fin du programme conjoint ICRISAT-CIRAD sur le sorgho, financé par le Ministère français de la Coopération, le CIRAD et l'ICRISAT. Il a été suivi par une soixantaine de personnes : des chercheurs des SNRA d'Afrique de l'Ouest et du Centre, des agents du développement et des représentants du CIRAD et de l'ICRISAT venant du Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, France, Inde, Mali, Niger, Nigéria, Tchad, Togo. L'atelier a passé en revue les résultats de huit années de recherches en collaboration sur le sorgho. Les axes prioritaires des futures recherches destinées à l'amélioration des systèmes de culture à base de sorgho ont été discutés.

- Co-organisation de l'Atelier final du projet INCO-DC18-CT96-010 (Ouagadougou, Burkina Faso, 2000) :

Cet atelier, qui s'est tenu du 4 au 7 décembre 2000 à Ouagadougou, a marqué la fin de ce projet, mené dans le cadre du 5^{ème} PCRD, qui a associé pendant quatre ans, outre l'Inera et le Cirad-ca, l'Université d'Heidelberg d'Allemagne, et le CNESOLER et l'IER du Mali. Il a rassemblé une trentaine de participants représentant les partenaires du Projet, le secteur du développement agricole du Burkina Faso, et des partenaires de la région (ICRISAT-Mali, INRAN du Niger et SARI du Ghana). L'atelier a passé en revue les résultats de quatre années de recherches visant à augmenter la quantité et la qualité du sorgho pour les populations d'Afrique de l'Ouest, par la réduction des pertes occasionnées par les insectes ravageurs. Ces acquis ont été placés dans une optique de protection intégrée, de par les perspectives d'élargissement à d'autres contraintes biotiques, d'autres disciplines et partenaires dans le cadre de nouvelles collaborations, pour mieux répondre aux questions qui sont restées posées.

- Organisation de l'Atelier de programmation scientifique du PCP SCRiD (Antsirabe, Madagascar, 2002)

Cet atelier, qui s'est tenu à Antsirabe du 8 au 11 octobre 2002, a constitué le réel acte fondateur du Pôle de compétence en partenariat « Systèmes de culture et rizicultures durables » (PCP/SCRiD). Il a réuni une cinquantaine de personnes des institutions fondatrices (FOFIFA, CIRAD, Université d'Antananarivo), mais aussi d'un grand nombre d'organismes partenaires du pôle, relevant notamment du développement.

1.14 Publications

Le classement dans chaque section est chronologique puis alphabétique pour une même date. Les noms des étudiants encadrés sont soulignés.

1.14.1 Thèses & Mémoires

- 1.14.1.1 **Ratnadass, A.** 1982. Aspects morphogénétiques et bases chimiques de la résistance du pêcher *Prunus persica* (L.) Batsch. au puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulzer. Mémoire de Diplôme d'Agronomie approfondie. Paris, France : Institut National Agronomique. 60 pp.
- 1.14.1.2 **Ratnadass, A.** 1987. Dynamique des populations d'insectes ravageurs des stocks de céréales en milieu villageois d'Afrique tropicale. Thèse de Docteur-Ingénieur en Sciences agronomiques. Paris, France : Institut National Agronomique. 266 pp.

1.14.2 Ouvrages (éditeur)

- 1.14.2.1 **Ratnadass, A.**, Chantereau, J., Gigou, J. (eds.). 1998. Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (17-20 Mar 1997, Bamako, Mali). Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca. 315 p.
- 1.14.2.2 **Ratnadass, A.**, Ajayi, O., Marley, P.S., Akintayo, I. (eds.) 2001. Les insectes ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre - Insect pests of sorghum in West and Central Africa. Actes de l'atelier de formation - Proceedings of training workshop, ROCARS-ICRISAT-CIRAD, 14-23 Oct 1996, Samanko, Mali. CD-ROM. Collection Colloques, Montpellier : CIRAD.

1.14.3 Chapitres d'ouvrages

- 1.14.3.1 **Ratnadass, A.**, Mourichon, X., Vaissayre, M., Quilici, S., Deguine, J.P. 2003. IPM experiences of CIRAD-France in developing countries Pages 453-465 in Integrated Pest Management in the Global Arena (Maredia, K., Dakouo, D., Mota-Sanchez, D. eds.). East Lansing, MI, USA : Michigan State University & Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing.
- 1.14.3.2 **Ratnadass, A.**, Michellon, R., Randriamanantsoa, R., Séguy, L. 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. Pages 589-602 in Biological

Strategies for Sustainable Soil Systems (Uphoff, N., Ball, A., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N., Thies, J. Eds), Boca Raton, Florida, USA: CRC Press-Taylor & Francis.

1.14.4 Articles de revues à facteur d'impact

- 1.14.4.1 **Ratnadass, A.**, Cissé B., Mallé K. 1994. Notes on the biology and immature stages of West African sorghum head bugs *Eurystylus immaculatus* and *Creontiades pallidus* (Heteroptera : Miridae). Bulletin of Entomological Research 84: 383-388.
- 1.14.4.2 **Ratnadass, A.**, Cissé B., Diarra D., Sangaré M.L. 1997. Indigenous host plants of sorghum head-bugs (Heteroptera : Miridae) in Mali. African Entomology 5: 158-160.
- 1.14.4.3 Dakouo, D., **Ratnadass, A.** 1999. Les lépidoptères foreurs de tige du sorgho en Afrique de l'Ouest: fluctuations saisonnières, importance économique et perspectives de lutte intégrée. Annales de la Société Entomologique de France 35:463-470.
- 1.14.4.4 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Diarra, D., Sidibé, B., Sogoba, B., Thiéro, C.A.T. 1999. Faune des stocks de sorgho dans deux régions du Mali et comparaison des pertes infligées aux variétés locales ou introduites pour améliorer le rendement. Annales de la Société Entomologique de France 35:489-495.
- 1.14.4.5 **Ratnadass, A.**, Traore T., Sylla M., Diarra D. 2001. Improved techniques for mass-rearing *Busseola fusca* (Lepidoptera : Noctuidae) on an artificial diet. African Entomology 9: 167-175.
- 1.14.4.6 **Ratnadass, A.**, Chantereau J., Coulibaly M.F., Cilas C. 2002. Inheritance of resistance to the panicle-feeding bug *Eurystylus oldi* and the sorghum midge *Stenodiplosis sorghicola* in sorghum. Euphytica 123: 131-138.
- 1.14.4.7 **Ratnadass, A.**, Butler D.R., Marley P.S., Bandyopadhyay R., Hess D.E., Akintayo I. 2003. Sorghum head-bugs and grain molds in West and Central Africa: 2. Relationships between weather, head-bug and mold damage on sorghum grains. Crop protection 22: 853-858.
- 1.14.4.8 **Ratnadass, A.**, Marley P.S., Hamada M.A.G., Ajayi O., Cissé B., Assamoi F., Atokple I.D.K., Beyo J., Cissé O., Dakouo D., Diakité M., Dossou Yovo S., Le

Diambo B., Vopeyande M.B., Sissoko I., Tenkouano A. 2003. Sorghum head-bugs and grain molds in West and Central Africa : 1. Host plant resistance and bug-mold interactions on sorghum grains. Crop protection 22: 837-851.

1.14.4.9 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Cissé, S., Cissé T., Hamada, M.A. Chantereau, J., Letourmy, P. Combined on-farm effect of plot size and sorghum genotype on sorghum panicle-feeding bug infestation in Mali. Euphytica (MS-EUPH-S-06-00772 : *version révisée renvoyée aux éditeurs*).

1.14.5 Article de revues à comité de lecture sans facteur d'impact

1.14.5.1 Sauphanor, B., **Ratnadass, A.** 1985. Problèmes entomologiques liés à la conservation de l'igname en Côte d'Ivoire. Agronomie tropicale 40: 261-270.

1.14.5.2 Sauphanor, B., Bordat, D., Delvare, G., **Ratnadass, A.** 1987. Les insectes des ignames stockées de Côte d'Ivoire. Inventaire faunistique et éléments biologiques. Agronomie tropicale 42:305-312.

1.14.5.3 **Ratnadass, A.** 1990. Les pertes occasionnées par les insectes au sorgho stocké dans des villages de l'Ouham et de l'Ouham-Pendé (République centrafricaine). Agronomie tropicale 45:31-41.

1.14.5.4 **Ratnadass, A.**, Doumbia, Y. O., Hamadoun, A. 1992. *Neolimnus aegypticus* Matsumura (Hemiptera: Cicadellidae) et *Sesamia penniseti* Tams et Bowden (Lepidoptera: Noctuidae), deux nouveaux ravageurs du sorgho de décrue dans la zone des lacs au nord du Mali. Agronomie Tropicale 46:321-326.

1.14.5.5 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Diarra, D., Mengual, L., Taneja, S.L., Thiéro, C.A.T. 1997. Perspectives de gestion biointensive des foreurs des tiges de sorgho en Afrique de l'Ouest. Insect Science and its Application 17:227-233.

1.14.5.6 Ajayi, O., Sharma H.C., Tabo, R., **Ratnadass, A.**, Doumbia, Y.O. 2001. Incidence and distribution of sorghum head bug, *Eurystylus oldi* (Heteroptera: Miridae) in West and Central Africa. Insect Science and its Application 21:103-111.

- 1.14.5.7 **Ratnadass, A.**, Butler, D.R. 2003. Abundance of sorghum head-bugs (Heteroptera: Miridae) in Mali and empirical relationships with weather. Insect Science and its Application 23:239-250.
- 1.14.5.8 Deu, M., **Ratnadass, A.**, Hamada, M.A., Noyer, J.L., Diabate, M., Chantereau, J. 2005. Quantitative Trait Loci for Head-bug Resistance in Sorghum. African Journal of Biotechnology 4: 247-250.

1.14.6 Autres articles de périodiques

- 1.14.6.1 Massonié, G., **Ratnadass, A.** 1983. Rôle des substances phénoliques dans la résistance du pêcher *Prunus persica* (L) Batsh. à *Myzus persicae* Sulzer - Role of phenolics in the resistance of peach *Prunus persica* (L) Batsch. to the aphid *Myzus persicae* Sulzer (Fr. & Eng.). Bulletin OILB/SROP 1983/VI:141-144.
- 1.14.6.2 **Ratnadass, A.**, Diarra, D., Cissé, B., Taneja, S.L. 1995. Development of a cost-effective laboratory technique for continuous mass rearing of *Busseola fusca* on a meridic diet. International Sorghum and Millets Newsletter 36:79-81.
- 1.14.6.3 Youm, O., Touré, K., Darboe, M., **Ratnadass, A.**, Mahamadou, C.I., Baldé, M., Hall, D.R. 1997. Monitoring pearl millet stem borer (*Coniesta ignefusalis* (Hampson)) populations using pheromone-baited traps. Part I: Results from Mali, Gambia, Niger, and Senegal. International Sorghum and Millets Newsletter 38:134-136.
- 1.14.6.4 Maldas, J.M., **Ratnadass, A.** 1998. *Crotalaria juncea* (Fabaceae) citée pour la première fois comme hôte alternatif d'*Eurystylus oldi* important ravageur africain du sorgho et du ricin (Hem., Miridae). Bulletin de la Société entomologique de France 103:272.
- 1.14.6.5 Dakouo, D., Trouche, G., **Ratnadass, A.**, Ba, M., Da, S. 2000. New sources of resistance to sorghum midge in Burkina Faso. International Sorghum and Millets Newsletter 41:34-37.
- 1.14.6.6 Sharma, H.C., **Ratnadass, A.** 2000. Color Variation in the African Sorghum Head Bug, *Eurystylus oldi* (Hemiptera: Miridae). International Sorghum and Millets Newsletter 41:42-43.

- 1.14.6.7 **Ratnadass, A.**, Ag Hamada, M., Traoré, S., Cissé, S., Sidibé, B. 2001. On-farm development and testing of IPM packages for control of sorghum head-bugs in Mali. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige Universiteit Gent 66/2a:315-324.
- 1.14.6.8 Dakouo D., **Ratnadass, A.** 2005. Efficiency of a pheromone-baited trap for the sorghum stem borer *Busseola fusca*. International Sorghum and Millets Newsletter 42 (2001): 51-52.
- 1.14.6.9 Deu M., **Ratnadass, A.**, Hamada M.A.G., Diabaté M., Noyer J.L., Togola Fane S., Chantereau J. 2005. Quantitative trait loci for head bug resistance in sorghum. International Sorghum and Millets Newsletter 42 (2001): 54-57.
- 1.14.6.10 Mathieu, B., **Ratnadass, A.**, Aboubakary, A., Beyo, J., Moyal, P. 2006. Losses caused by stem borers to transplanted sorghum crops in northern Cameroon. International Sorghum and Millets Newsletter 47 :75-77.
- 1.14.6.11 **Ratnadass, A.**, Chantereau, J., Cissé, B., Ag Hamada, M., Fliedel, G., Grabulos, J., Luce, C. 2006. Selection of a sorghum line CIRAD 441 combining productivity and resistance to midge and head bugs. International Sorghum and Millets Newsletter 47 :30-32.

1.14.7 Congrès nationaux et internationaux

- 1.14.7.1 **Ratnadass, A.**, Sauphanor, B. 1989. Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire. Pages 47-56 in Céréales en régions chaudes: conservation et transformation: actes du Colloque international de Technologie (Parmentier M., Foua-Bi K., eds.). 22-26 Feb 1988, Ngaoundéré, Cameroun. Collection Universités francophones de l'UREF, Paris, France: AUPELF/Eds John Libbey Eurotext.
- 1.14.7.2 **Ratnadass, A.**, Evans, D.C., Way, B.S., Mokombo, A., Ngbangamon, F. 1991. Amélioration des techniques de stockage des vivriers en vue de la réduction des pertes post-récolte occasionnées par les rongeurs au niveau de villages de la République centrafricaine. Pages 1507-1515 in Proceedings of the 5th International working Conference on Stored-product Protection (Fleurat-Lessard F., Ducom P. eds.). 9-14 Sep 1990, Bordeaux, France. 3 Vol., 2065 p.

- 1.14.7.3 **Ratnadass, A.**, Fleurat-Lessard, F. 1991. Improvements in the practical methods of assessment of losses caused by insects in grain stored at the village level in tropical Africa. Pages 1681-1191 in Proceedings of the 5th International Working Conference on Stored-Product Protection (Fleurat-Lessard F., Ducom P. eds.) 9-14 Sep 1990, Bordeaux, France, 3 Vol., 2065 p.
- 1.14.7.4 **Ratnadass, A.**, Salez, P. 1991. The IRAT Sorghum Program: Highlights and Areas for Interaction with INTSORMIL. Pages 137-145 in Proceedings of the International Sorghum/Millet Collaborative Research Support Program (CRSP) Conference (Schilling, T., Stoner, D. eds.). 8-12 Jul 1991, Corpus Christi, Texas, USA. Lincoln, Nebraska, USA: INTSORMIL.
- 1.14.7.5 Betbeder-Matibet, M., Goebel, R., **Ratnadass, A.** 1993. Lutte intégrée contre les foreurs des céréales tropicales : Evaluation de la résistance variétale aux ravageurs. Pages 1293-1301 in Annales de la 3ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture (ANPP ed.). 7-9 Dec 1993, Montpellier, France, Vol. III/III.
- 1.14.7.6 **Ratnadass, A.** 1993. Perspectives de lutte intégrée contre les punaises piqueuses des panicules (Heteroptera: Miridae), ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest. Pages 23-32 in Atelier d'entomologie appliquée: Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures (Girardot, B. ed.). 31 Mar-1 Apr 1993, CIRAD, Montpellier, France. Montpellier, BP 5035, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.7 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Luce, C., Diarra, D., Thiéro, C.A.T. 1993. Etudes récentes sur la résistance variétale du sorgho à trois de ses principaux ravageurs en Afrique de l'Ouest. Pages 127-141c in Réunion de coordination des recherches phytosanitaires pour la sous-région Afrique de l'Ouest (Girardot, B. ed.) 26-28 Jan 1993, Cotonou, Bénin. Montpellier, B.P. 5035, France : CIRAD.
- 1.14.7.8 **Ratnadass, A.**, Berté, S., Diarra, D., Cissé, B. 1994. Insect losses on sorghum stored in selected Malian villages with particular emphasis on varietal differences in grain resistance. Pages 953-959 in Stored product protection: Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection (Highley, E., Wright, E.J. Banks, H. J., Champ, B.R. eds.). 17-23 Apr 1994, Canberra, Australia. Oxon, UK: CAB International.

- 1.14.7.9 **Ratnadass, A.**, Ramaiah, K.V., Sharma, H.C., Cissé, B. 1994. Réaction de variétés de sorgho aux attaques de la punaise des panicules *Eurystylus immaculatus* Odhiambo (Heteroptera, Miridae) en Afrique de l'Ouest. Pages 333-343 in Progress in Food Grain Research and Production in Semi-Arid Africa: proceedings of the SAFGRAD Inter-Network Conference (Menyonga, J.M., Bezuneh, T., Yayock, J.Y., Soumana, I., eds). 7-14 Mar 1991, Palais des Congrès, Niamey, Niger. Ouagadougou, BP 1783, Burkina Faso: SAFGRAD.
- 1.14.7.10 Cissé, B., **Ratnadass, A.**, Traoré, Y., Dakouo, D. 1995. Piégeage phéromonal de *Busseola fusca* à Samanko (Mali) et Farako-ba (Burkina Faso). Pages 173-180 in Réunion de coordination phytosanitaire Cultures annuelles-Afrique de l'Ouest (Girardot, B. ed.). 20-24 Feb 1995, Bamako, Mali. Montpellier, B.P. 5035, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.11 **Ratnadass, A.**, Ajayi, O. 1995. Panicle insect pests of sorghum in West Africa. Pages 29-38 in Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop (Nwanze, K.F., Youm, O., eds). 4-7 Oct 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.
- 1.14.7.12 **Ratnadass, A.**, Ajayi, O., Flidel, G., Ramaiah, K.V. 1995. Host plant resistance in sorghum to *Eurystylus immacuatus* in West Africa. Pages 191-199 in Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop (Nwanze, K.F., Youm, O., eds.). 4-7 Oct 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.
- 1.14.7.13 **Ratnadass, A.**, Diarra, D., Cissé, B., Taneja, S.L. 1995. Mise au point d'une technique d'élevage permanent de *Busseola fusca* sur milieu nutritif artificiel au laboratoire. Pages 161-171 in Réunion de coordination phytosanitaire Cultures annuelles-Afrique de l'Ouest (Girardot, B. ed.). 20-24 Feb 1995, Bamako, Mali. Montpellier, B.P. 5035, France : CIRAD.
- 1.14.7.14 **Ratnadass, A.**, Doumbia, Y.O., Ajayi, O. 1995. Bioecology of sorghum head bug *Eurystylus immaculatus* and crop losses in West Africa. Pages 91-102 in Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International

Consultative Workshop, 4-7 Oct 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger (Nwanze, K.F., Youm, O. eds.). Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.

- 1.14.7.15 Fliedel, G., **Ratnadass, A.**, Yajid, M. 1996. Study of some physico-chemical characteristics of developing sorghum grains in relation with head bug resistance. Pages 46-63 in Proceedings of the ICC International Symposium on Cereals Science and Technology: Impact on a Changing Africa (Dendy, D.A.V. ed.), 9-13 May 1993, Pretoria, South Africa. Vienna, Austria : ICC.
- 1.14.7.16 **Ratnadass, A.**, Cissé, B. 1996. New options for the integrated management of sorghum head bug *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae) in West Africa. Page 545 in Proceedings of the XX International Entomology Congress, 25-31 Aug 1996, Florence, Italy.
- 1.14.7.17 Sharma, H.C., **Ratnadass, A.** 1996. Sorghum pest management research at ICRISAT: Status and future direction. Pages 39-56 in Sorghum-perspectives of a global research agenda. ICRISAT Sorghum projects consultative group meeting (Nwanze, K.F., Bandyopadhyay, R., eds). 11-14 Dec 1995, ICRISAT Western and Central Africa Region, BP 320, Bamako, Mali. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.
- 1.14.7.18 Dakouo, D., **Ratnadass, A.** 1997. Bioecology of sorghum stem borers in West Africa and prospects for integrated pest management. Page 43 in Insects in African economy and environment: proceedings of the joint Congress of the entomological Society of Southern Africa (11th congress) and the African Association of Insect Scientists (12th congress) (Roberston H.G. ed.). 30 Jun-4 Jul 1997, Stellenbosch, South Africa.
- 1.14.7.19 Henzell, R.G., Peterson, G.C., Teetes, G.L., Franzmann, B.A., Sharma, H.C., Youm, O., **Ratnadass, A.**, Touré, A., Raab, J., Ajayi, O. 1997. Breeding for resistance to panicle insect pests of sorghum and pearl millet. Pages 255-280 in Proceedings of the international conference on genetic improvement of sorghum and pearl millet (Intsormil, Icrisat eds.), 22-27 Sep 1996, Lubbock, Texas, USA. Lincoln, Nebraska, USA: Intsormil.

- 1.14.7.20 Ajayi, O., **Ratnadass, A.** 1998. Sorghum insect pest distribution and losses in West Africa. Pages 81-90 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.21 Cissé, B., **Ratnadass, A.**, Mengual, L., Dembélé, C. 1998. Effet insecticide d'extraits de pourghère sur les foreurs des tiges et les punaises des panicules du sorgho au Mali. Pages 119-126 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.22 Dakouo, D., **Ratnadass, A.** 1998. Bioécologie des foreurs de tiges du sorgho en Afrique de l'Ouest et perspectives de lutte intégrée. Pages 91-104 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.23 Girardot, B., Grard, P., **Ratnadass, A.** 1998. Présentation de Coton *Doc*, Adventrop *Doc* et Ento *Doc*. Pages 223-228 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.24 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Butler, D. 1998. Bioecology of the panicle-feeding bug *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae), a key pest of sorghum in Mali. Pages 105-111 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.25 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Coulibaly, M.F., Chantereau, J., Fliedel, G. 1998. Résistance variétale du sorgho aux punaises des panicules en Afrique de l'Ouest.

Pages 57-60 in Interactions insectes-plantes: actes des 6^e journées du groupe de travail relations insectes-plantes (Bournoville, R. ed.), 4-5 Jun 1997, Lusignan, France. Lusignan, France: INRA.

- 1.14.7.26 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Coulibaly, M.F., Fliedel, G., Chantereau, J. 1998. Host plant resistance in sorghum to *Eurystylus oldi* in West Africa. Pages 113-117 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre: actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Ratnadass, A., Chantereau, J., Gigou, J. eds.). 17-20 Mar 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, France: Cirad-ca.
- 1.14.7.27 Cissé, B., **Ratnadass, A.**, Sow, A., Sylla, M., Maïga, H.M., Diarra, D., Thiéro, C.A.T. 1999. Les hétéroptères associés à la rotation culturale cotonnier-sorgho-arachide au Mali - *Heteropteran bugs associated with the cotton-sorghum-groundnut crop rotation in Mali*. Pages 11-12 in Integrated pest and vector management and sustainable development in Africa: Abstract of the Joint Congress of the African Association of Insect Scientists (13th congress) and the Entomological Society of Burkina Faso (Giga, D., Ali Bob, M. eds.). 19-23 Jul 1999, Ouagadougou, Burkina Faso.
- 1.14.7.28 **Ratnadass, A.**, Ag Hamada, M., Thiéro, C.A.T., Diabaté, M., Dramé, D., Cissé, B. 1999. Etudes récentes sur la résistance du sorgho à la punaise des panicules *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae) au Mali - *Recent studies on sorghum resistance to panicle-feeding bug panicules Eurystylus oldi Poppius (Heteroptera: Miridae) in Mali*. Pages 26-27 in Integrated pest and vector management and sustainable development in Africa: Abstract of the Joint Congress of the African Association of Insect Scientists (13th congress) and the Entomological Society of Burkina Faso (Giga, D., Ali Bob, M. eds.). 19-23 Jul 1999, Ouagadougou, Burkina Faso.
- 1.14.7.29 Deu, M., Grivet, L., Trouche, G., Barro, G., **Ratnadass, A.**, Diabaté, M., Ag Hamada, M., Fliedel, G., Rami, J.F., Grenier, C., Hamon, P., Glaszmann, J.C., Chantereau, J. 2000. Use of molecular markers in the sorghum breeding program at CIRAD. Pages 91-112 in Application of molecular markers in plant breeding: Training manual for a seminar held at IITA (Hausmann, B.I.G., Geiger, H.H., Hess,

D.E., Hash, C.T., Bramel-Cox, P. eds.), Ibadan, Nigeria, 16-17 Aug 1999. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.

- 1.14.7.30 **Ratnadass, A.**, Butler, D.R., Marley, P.S., Ajayi, O., Bandyopadhyay, R., Hamada, M.A., Hess, D.E., Assamoi, F., Atokple, I.D.K., Beyo, J., Cissé, O., Dakouo, D., Diakité, M., Dossou-Yovo, S., Le Diambo, B., Sissoko, I., Vopeyande, M.B., Akintayo, I. 2001. Interacting effect of head bugs, molds and climate on sorghum grains in West and Central Africa. Pages 120-140 in Towards sustainable sorghum production, utilization, and commercialization in West and Central Africa: proceedings of a technical workshop of the West and Central Africa Sorghum Research Network (Akintayo, J., Sedgo, J. eds.), Apr 1999, Lomé, Togo. Bamako, Mali: WCASRN & Patancheru, India: ICRISAT.
- 1.14.7.31 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Ag Hamada, M., Cissé, S., Cissé, T., Sidibé, B. 2002. Effets de la taille des parcelles et du genotype de la plante sur l'infestation du sorgho par les punaises des panicules en champs paysans au Mali. Pages 331-338 in Annales de la 6ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture (ANPP ed.). 4-6 Dec 2002, Montpellier, France, Vol. I/II.
- 1.14.7.32 **Ratnadass, A.**, Djimadoumngar, K. 2002. Les insectes ravageurs des sorghos repiqués ou cultivés en conditions de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre. Pages 65-80 in La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre - Situation actuelle et définition d'un Plan d'action régional (Comas, J., Gomez MacPherson H. eds.). Madrid, Espagne : AECI & Rome, Italie : FAO.
- 1.14.7.33 **Ratnadass, A.**, Rattunde, H.F.W., Weltzien-Rattunde, E. 2002. Participatory approaches: Experiences of ICRISAT-Mali (*Expérience des approches participatives de l'ICRISAT-Mali*). Pages 45-46 in Improving income and food supply in the Sahel - On-farm testing of sorghum and pearl millet technologies: summary proceedings of the Stakeholders' Workshop to plan and implement the IFAD Project, 24-26 Feb 1999, ICRISAT, Sadoré, Niger. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT.
- 1.14.7.34 Tomas, C., **Ratnadass, A.**, Maldas, J.M., Reneaud, H. 2002. Entomofaune des stocks de maïs et de manioc au nord du Mozambique et méthodes de réduction des

pertes. Pages 575-582 in Annales de la 6ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture (ANPP ed.). 4-6 Dec 2002, Montpellier, France, Vol. II/II.

- 1.14.7.35 Rabary, B., Chotte, J.L., **Ratnadass, A.** 2003. Mesure d'impacts des modes de gestion des sols sur le compartiment microbien de sols ferrallitiques du Vakinankaratra (Madagascar). Poster présenté au Forum de la recherche, de la formation et du développement, 9-11 Dec 2003, Université d'Antananarivo, MESRS, Antananarivo, Madagascar.
- 1.14.7.36 Coulibaly A., Samoura M., Diarra S., Jago N.D., **Ratnadass, A.** 2004. Élément de bio-écologie de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera , Noctuidae) dans une zone de savane soudanienne du Mali. [Résumé]. 1 p. Mali Symposium on Applied Sciences = Symposium Malien sur les Sciences Appliquées, 2004/08/02-05, Bamako, Mali.
- 1.14.7.37 **Ratnadass, A.** 2004. Le Pôle de compétence en partenariat (PCP) "Systèmes de culture et rizicultures durables" (SCRiD) Université d'Antananarivo / FOFIFA / CIRAD à Madagascar : Stratégie de développement durable et approche de coopération régionale. Pages 51-56 in Actes du Séminaire Développement durable et coopération régionale, MAAPAR – Région Réunion, 2003/10/03-09/29, LPAH St-Joseph & LEGTA St-Paul, Ile de la Réunion.
- 1.14.7.38 Aboubakary, **Ratnadass, A.**, Mathieu B., Beyo J., Brévault T., Woin N. 2005. Protection insecticide du sorgho repique (*Muskuwaari*) contre les dégâts de foreurs des tiges (*Sesamia* spp) au nord-Cameroun. In AFPP : Acte de la 7è Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture. 7, 2005/10/26-27, Montpellier, France. 9 p.
- 1.14.7.39 Brauman A., Blanchart E., Baudoin E., Lardy L., Villenave C., Cheneby D., Phillipot L., Fromin N., Joffre R., Lensi R., **Ratnadass, A.**, Rabary B. 2005. Modes d'utilisation des terres et flux de N₂O: caractérisation des déterminants du fonctionnement de communautés dénitrifiantes. Colloque de restitution scientifique du programme ECCO, Toulouse, 5-7 décembre 2005. Poster.
- 1.14.7.40 Randriamanantsoa R., **Ratnadass, A.** 2005. Protection insecticide du riz pluvial par traitement des semences à Madagascar. In AFPP : Acte de la 7è

Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture (Cédérom), 2005/10/26-27, Montpellier, France. 6 p.

- 1.14.7.41 **Ratnadass, A.**, Andrianaivo, A., Michellon, R., Moussa, N., Randriamanantsoa, R., Séguy, L. 2005. Impact of a Direct seeding, Mulch-based, Conservation agriculture (DMC) rainfed rice-based system on soil pest and Striga infestation and damage in Madagascar. Poster presented at the III World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, 3-6 Oct 2005.
- 1.14.7.42 **Ratnadass, A.**, Cissé, B., Mathieu, B., Randriamanantsoa, R. 2006. Gestion des insectes ravageurs des céréales tropicales : de la résistance génétique de la plante-hôte à la résistance culturale de l'agroécosystème. In : AFPP. Actes de la 7ème Conférence Internationale sur les Moyens Alternatifs de Protection des Cultures (Cd-rom). 13-15 Mar 2006, Lille, France, 6 p.
- 1.14.7.43 **Ratnadass, A.**, Randriamanantsoa, R., Rabearisoa, M.Y., Rajaonera, T.E., Rafamatanantsoa, E., Isautier, C. 2006. Dynastid white grubs as rainfed rice pests or agrosystem engineers in Madagascar. Poster presented at the 2nd International Rice Congress, New Delhi, India, 9-13 Dec 2006.

2 Deuxième partie : Descriptif des activités de recherche

2.1 Chapitre 1. Présentation de la problématique bioécologique et des différentes situations étudiées

2.1.1 La problématique

2.1.1.1 Généralités et définitions

Les interactions trophiques entre plantes et insectes phytophages recouvrent une large gamme de situations pouvant être caractérisées par la façon dont l'un ou l'autre protagoniste est affecté.

Ces interactions peuvent être classifiées en termes de résistance et de sensibilité, suivant qu'on se place du point de vue de l'insecte ou de la plante :

- en fonction de la totale adéquation (sensibilité) ou inadéquation (résistance) de la plante comme hôte pour l'insecte,
- ou du niveau d'abondance des populations d'insectes et de dégâts occasionnés à la plante (élevé = sensibilité ; faible = résistance).

La résistance de la plante a été définie comme « la conséquence de qualités héritables de la plante qui résultent en ce qu'elle est relativement moins endommagée qu'une plante sans ces qualités » (Horber, 1980). Les variétés résistantes aux insectes réduisent l'abondance des ravageurs ou tolèrent leurs dégâts. La résistance et la tolérance des plantes sont donc relatives et fondées sur la comparaison avec des plantes ne présentant pas ces caractères de résistance, i.e les plantes sensibles.

Le terme d'immunité vis-à-vis d'un insecte spécifique s'applique à une situation où cet insecte ne consommera ou n'endommagera jamais une variété donnée (qualifiée alors d'immune) dans les conditions connues. En pratique, il y a peu, si tant est qu'il y en ait, de cultivars immuns aux attaques d'insectes spécifiques connus pour s'attaquer à des cultivars de la même espèce végétale.

En outre, on qualifie de « pseudorésistance » un phénomène comme l'évasion de l'hôte (par non coïncidence du stade sensible de la plante avec le pic de pullulation du ravageur : caractéristique non génétique *stricto sensu*, bien que la durée du cycle soit largement déterminée génétiquement).

Painter (1951, in Horber, 1980) a proposé de grouper les mécanismes de résistance en trois grandes catégories : antixénose ; antibiose et tolérance.

L'antixénose affecte le comportement du ravageur et s'exprime habituellement par la non-préférence de l'insecte pour la variété résistante comparée à la variété sensible.

L'antibiose affecte la biologie de l'insecte (en augmentant sa mortalité ou en réduisant sa longévité et sa reproduction) de telle sorte que l'abondance des ravageurs et les dégâts causés sont réduits comparé à ceux qui auraient été causés si l'insecte s'était trouvé sur une variété sensible.

La tolérance est une résistance dans laquelle la plante est capable de supporter ou de récupérer d'un dégât causé par un insecte ravageur dont l'abondance atteint celle qui cause des dégâts à une variété sensible.

Ainsi, l'antibiose et l'antixénose causent une réponse de l'insecte phytophage quand celui-ci essaie d'utiliser la plante résistante pour nourriture, alors que la tolérance affecte différemment la relation insecte-plante : c'est une réponse de la plante à l'insecte.

D'ailleurs, antibiose et antixénose sont parfois difficiles à distinguer : ainsi, l'antixénose vis-à-vis de stades peu mobiles (t.q les larves d'insectes des stocks ou de la cécidomyie du sorgho *Stenodiplosis sorghicola*) a les mêmes effets que l'antibiose.

Parmi les résistances relevant de l'antibiose, seule l'hypersensibilité affecte aussi la plante dans cette relation (en même temps que l'insecte) (Fernandes, 1990). C'est toutefois avant tout une réaction de défense de la plante. L'hypersensibilité a plutôt été étudiée chez les plantes pérennes (Fernandes & Negreiros, 2001 ; Fernandes et al., 2003 ; Ollerstam et al., 2002), mais elle a aussi été mise en évidence sur certains ravageurs spécialistes des céréales, comme la cécidomyie du riz *Orseolia oryzae* (Bentur & Kalode, 1996).

La tolérance des plantes aux insectes a en revanche été surtout étudiée chez les plantes annuelles (Haukioja & Koricheva, 2000).

Plusieurs études suggèrent que les plantes, plus particulièrement les graminées, peuvent trouver un avantage écologique à être broutées (Owen, 1980 ; Paige & Whitham, 1987), selon un mutualisme du même type que celui qui s'est développé entre fleurs et pollinisateurs.

Toutefois, ces études s'appliquent plutôt aux herbivores vertébrés (surtout mammifères ongulés) (Kotanen & Rosenthal, 2000), et les situations décrites ne seraient pas si fréquentes, notamment celles où l'aptitude relative des individus broutés serait supérieure à celle des congénères non broutés (Bergelson & Crawley, 1992). Il y a malgré tout des cas avérés de surcompensation (Jaremo et al., 1999).

Tolérance et résistance assurent la même fonction, bien que ne se manifestant pas de la même façon, et procédant même de mécanismes sélectifs *a priori* opposés. En effet la résistance (défense) impose une pression de sélection sur les populations de phytophages, alors que ce n'est pas le cas pour la tolérance, sauf si elle s'accompagne de résistance induite (Agrawal, 1998 ; Agrawal & Karban, 1999 ; Agrawal & Sherrifs, 2001), qui relève alors de l'antibiose ou de l'antixénose.

Résistance et tolérance ne sont toutefois pas forcément mutuellement exclusives (Mauricio et al., 1997 ; Strauss & Agrawal, 1999), comme cela a notamment été mis en évidence dans le cas de céréales comme le maïs (Rosenthal & Welter, 1995) et le sorgho (Pathak, 1985) vis-à-vis de foreurs de tiges.

Une proposition de classification des différentes formes de relations plante-insecte en fonction de la façon dont sont affectés (positivement ou négativement) l'un et l'autre protagoniste est présentée au Tableau 1. Le Tableau 2 présente les principaux mécanismes de résistance des plantes aux insectes sous l'angle particulier des plantes cultivées, en termes d'avantages et inconvénients pour l'homme (sélectionneur, agronome ou agriculteur) de leur mise en œuvre.

Tableau 1. Classification des différentes formes de relations plante-insecte en fonction de la façon dont sont affectés (positivement ou négativement) l'un et l'autre protagoniste

Forme de relation plante-insecte	Effet sur la plante	Effet sur l'insecte
Sensibilité	-	+
Tolérance	+	+
Compensation	+	+
Hypersensibilité	+	-
Antixénose	+	-
Antibiose	+	-
Immunité	+	-

Tableau 2. Avantages et inconvénients liés à la mise en œuvre des principaux mécanismes de résistance des plantes cultivées aux insectes

Mécanismes	Avantages	Inconvénients
Antixénose	Faible pression de sélection sur l'insecte	Solution à petite échelle (spatiale et temporelle) : ne fait que « déplacer le problème » au-delà de la parcelle ne « tient » plus une fois l'insecte en conditions de non-choix (extension des surfaces)
Antibiose	Réduction effective des populations de ravageurs	Forte pression de sélection sur le ravageur d'où risque de contournement de la résistance Facteurs chimiques de résistance à éviter sur les grains consommés
Tolérance	Pas de pression de sélection sur l'insecte Maintien des populations d'ennemis naturels	Fortement dépendante des interactions G X E Augmentation des populations de ravageurs dans l'environnement (« amplifie le problème »)
Compensation	Pas de pression de sélection sur l'insecte Peut s'accompagner de résistance induite Sur-compensation gérable dans certains cas	Fortement dépendante des interactions G X E En général difficile à gérer agronomiquement

2.1.1.2 De la plante sauvage à la plante cultivée

La sélection de variétés à haut rendement s'accompagne souvent de l'abandon des caractéristiques morphologiques ou chimiques de la résistance. Ainsi, la domestication des céréales et la sélection agronomique se sont traduites par une réduction des défenses naturelles des plantes, par rapport aux parents sauvages, comme cela a été montré sur maïs avec ses ravageurs dont un foreur des tiges (Rosenthal & Dirzo, 1997).

Toutefois, bien que souvent à des niveaux absolus inférieurs à ceux trouvés chez les plantes sauvages, la coexistence plus fréquente de mécanismes de résistance et de tolérance dans les plantes cultivées par rapport aux espèces sauvages indiquerait que la sélection a réussi à créer

des variétés exprimant plusieurs stratégies de défense simultanément (Leimu & Koricheva, 2006).

A l'instar de la résistance, la tolérance chez les graminées est un caractère "rustique" (dans le sens d'une adaptation aux stress abiotiques et biotiques) qu'on ne retrouve plus au même niveau chez les céréales sélectionnées (en revanche plus productives).

Un certain équilibre s'est toutefois établi entre les variétés traditionnelles de céréales (définies comme des variétés anciennes obtenues par une sélection essentiellement massale par les agriculteurs eux-mêmes) et leurs insectes ravageurs dans les agroécosystèmes. C'est notamment le cas des variétés de sorgho photopériodiques à panicule lâche (Guinea) traditionnellement cultivées en Afrique de l'Ouest (notamment au Mali) qui sont généralement peu attaquées par les insectes.

L'importante aptitude au tallage, qui caractérise ces variétés locales, notamment en réponse à la formation de « cœurs morts » (dessèchement du fouet foliaire central consécutif à la destruction du méristème), permet à la plante de compenser les attaques de mouches des pousses *Atherigona soccata* et foreurs des tiges. Leur photopériodisme se traduit par une floraison uniforme et synchronisée, réduisant les dégâts de la cécidomyie (si l'on n'a pas par ailleurs semé de variétés précoces à proximité).

Enfin, ce photopériodisme des Guinea se traduit par une maturation des grains en période sèche, défavorable aux punaises mirides (particulièrement *E. oldi*). S'y ajoutent le caractère lâche et ouvert de la panicule, qui en fait un piètre abri contre les intempéries et les ennemis naturels, et la protection des grains par les glumes quasiment jusqu'à la maturité, limitant pour l'insecte l'accès au caryopse comme site d'alimentation ou d'oviposition.

2.1.1.3 De la résistance variétale de la céréale cultivée à la résistance culturale de l'agroécosystème

La résistance variétale constitue souvent la pierre angulaire des stratégies de protection intégrée des plantes cultivées vis-à-vis des insectes, de par la simplicité de sa mise en œuvre et de par sa compatibilité avec la plupart des autres méthodes de protection.

La résistance variétale seule présente toutefois des limites. En effet, en pratique, elle suppose un effort permanent des sélectionneurs pour anticiper les contournements de résistances par les ravageurs, et (particulièrement dans le cas des OGM), une gestion agronomique du risque potentiel d'apparition de résistances (tel que le maintien d'aires-refuges) (Altieri et al., 2004).

A ce titre, l'avantage comparatif de la résistance variétale (en terme de simplicité de mise en œuvre) par rapport aux pratiques culturales (autre pilier de la prévention, par opposition aux interventions curatives) s'estompe.

A partir du moment où on doit obligatoirement envisager d'autres interventions de la part du producteur que le seul semis de la variété résistante, on peut aussi envisager la mise au point de systèmes de culture durables, résistants aux ravageurs (à l'instar de variétés à résistance durable), en appliquant à l'ensemble de l'agroécosystème les principes de la résistance de la plante-hôte (tolérance, antixénose et/ou antibiose).

Même si l'on peut envisager le développement et l'utilisation de variétés à résistances multiples à un groupe de ravageurs, la résistance variétale comme moyen unique de lutte au niveau d'un agroécosystème est utopique. Plutôt que de répéter les erreurs commises dans d'autres situations, à l'époque du tout-insecticide, mieux vaut utiliser ces plantes résistantes comme composante d'une stratégie de protection intégrée de la culture.

D'une part, bien que définis par leur hérédité, les caractères et interactions sus-mentionnés sont affectés par les facteurs environnementaux. Notamment, le degré avec lequel la plante compense la phytophagie varie en fonction des conditions locales (Maschinski & Whitham, 1989 ; Trumble et al., 1993).

Dans leur méta-analyse, Hawkes & Sullivan (2001) ont trouvé que la croissance des graminées était moins affectée par la phytophagie ou surcompensait plus en conditions de fortes ressources (nutriments, eau et lumière), contrairement aux herbacées dicotylédones et aux pérennes, dont la croissance était moins affectée par la phytophagie ou sur-compensait plus en conditions de faibles ressources. Ceci en accord avec le modèle de continuum de réponse de Maschinski et Whitham (1989) selon lequel la probabilité de compensation diminue lorsque la compétition avec d'autres plantes augmente, la disponibilité en nutriments diminue, et l'action du phytophage est plus tardive par rapport au cycle de la plante.

Les agroécosystèmes modernes, notamment ceux fondés sur la culture pure de céréales, sont écologiquement instables, en ce qu'ils sont particulièrement vulnérables aux attaques d'insectes phytophages, et beaucoup moins favorables aux auxiliaires, que les écosystèmes naturels. Or l'objectif pour les agriculteurs n'est pas d'arriver à une simple résistance de la céréale-hôte, mais à une résistance aux ravageurs de tout l'agroécosystème cultivé (Bugg, 1992).

Dans le cadre de nouvelles approches telles le « push-pull » (=stimulo-dissuasion), le choix de plantes répulsives (comme *Desmodium uncinatum* ou *Melinis minutiflora* pour les foreurs de tiges du maïs : Khan & Pickett, 2004) participe de l'anti-xénose au niveau de l'agroécosystème. De même, celui de « vraies » plantes pièges (telles que le Vetiver ou le Napier grass = *Pennisetum purpureum* pour les foreurs des tiges : Khan & Pickett, 2004, Van den Berg et al. 2001, van den Berg, sous presse) participe de l'antibiose. Le principe de tolérance génétique se retrouve, au niveau de l'agroécosystème, dans les tolérances ou compensations induites par le meilleur statut nutritionnel des plantes cultivées dans certains systèmes. A ce titre, on dépasse le cadre de la protection intégrée, pour se situer dans celui de la production intégrée de ces céréales.

2.1.2 Les situations étudiées

Les travaux faisant l'objet de ce document ont été marqués par le souci de replacer la problématique développée ci-dessus, non seulement dans un contexte scientifique, mais également socio-économique. En effet, dans toutes les situations étudiées et présentées ci-après, l'aggravation des problèmes de ravageurs a été induite par des changements des éléments de l'itinéraire technique, voire des systèmes de culture, eux-mêmes liés à des évolutions des facteurs socio-économiques ou environnementaux.

2.1.2.1 Résistance variétale du sorgho aux punaises des panicules en Afrique de l'Ouest et du Centre

Les punaises mirides constituent un frein à l'adoption des variétés de sorgho à panicule compacte de race Caudatum, qui sont plus sensibles à leurs attaques que les variétés Guinea [1.14.7.11]. Or une telle adoption, autant pour faire face à l'augmentation des besoins alimentaires du fait de la pression démographique, qu'au changement climatique, est observée depuis quelques décennies au Nord de Bamako (Mali).

L'utilisation de variétés améliorées résistantes serait un moyen efficace de réduire les pertes subies par les petits producteurs, en revenant à un système écologiquement stable. Malheureusement, il est difficile de combiner dans une même variété les caractéristiques des Guinea et des Caudatum (Chantereau, comm. pers.). Le schéma de sélection récurrente qui a abouti à la création de la variété Malisor 84-7, à partir de la population de base malienne (Shetty et al., 1991), ne permet d'ailleurs pas d'affirmer que cette variété résistante aux punaises ait des gènes Guinea (en l'occurrence ceux de la variété locale Sarro).

S'agissant de ravageurs paniculaires, à l'instar, *a priori*, des ravageurs des grains stockés, les résistances recherchées sont de type antibiose ou antixénose, car la tolérance, *a fortiori* la compensation, sont exclues, puisque les organes attaqués sont les organes récoltés (à l'exception de cas de compensations partielles suite aux attaques de cécidomyie (Franzmann & Butler, 1993)).

Dans le cas des punaises toutefois, même si l'on exclut la notion de tolérance à proprement parler, il faut faire la différence entre des piqûres d'alimentation sur grains au début du stade laiteux, qui résultent en des pertes quantitatives très importantes, et des piqûres plus tardives, au stade laiteux/pâteux, d'alimentation ou d'oviposition, se traduisant par des pertes plutôt qualitatives.

D'autres contraintes portent sur l'utilisation pour l'alimentation humaine des grains : il ne s'agit évidemment pas que l'antibiose se traduise par une toxicité pour le consommateur, ni même que celle-ci affecte les qualités organoleptiques (cas de certains facteurs chimiques), ni technologiques (cas de certaines barrières physiques compliquant les opérations post-récolte) du grain.

Pour les insectes paniculaires (de même que pour les ravageurs des stocks), la non-préférence n'apporte qu'une solution à court terme car elle ne tient plus une fois l'insecte en conditions de non-choix : extension des surfaces, ou grain emmagasiné (sauf la non-préférence à l'alimentation des larves, qui dans le cas de la cécidomyie et des ravageurs des stocks aux larves peu mobiles, revient à de l'antibiose).

Par ailleurs, la résistance par antibiose impose une pression de sélection sur le ravageur. Il existe donc un risque potentiel de contournement de la résistance, comme cela est avéré pour les pucerons sur sorgho (à l'instar de la résistance aux insecticides, ou des plantes génétiquement modifiées, notamment maïs Bt pour les foreurs de tiges).

Toutefois, cela ne semble pas être fréquent avec certains facteurs de type physiologique ; ainsi, les cas de contournement par la cécidomyie de la résistance variétale du sorgho en Afrique de l'Est sont vraisemblablement plutôt le fait d'une manifestation d'interactions génotype X environnement (G X E) (Sharma et al., 1999).

2.1.2.2 Tolérance du sorgho repiqué aux foreurs des tiges au Nord-Cameroun

Dans les plaines du Nord-Cameroun, le sorgho repiqué de saison sèche est cultivé sur de vastes étendues sur des sols argileux (vertisols), difficiles à travailler en saison des pluies ; il complète son cycle en utilisant la réserve en eau du sol.

Au cours des dernières décennies, cette culture de saison sèche, appelée *Muskuwaari*, s'est étendue au-delà de sa zone traditionnelle (vertisols typiques) avec une adaptation du système de culture aux vertisols intermédiaires et dégradés plus proches des zones de culture pluviale (Mathieu, 2005).

C'est cette extension, qui concerne des variétés traditionnelles, qui est vraisemblablement à l'origine de l'importante aggravation des dégâts de foreurs des tiges, particulièrement *Sesamia cretica*, sur *Muskuwaari*, du fait d'une infestation croisée entre sorgho pluvial (Njigari) et *Muskuwaari*.

En termes variétaux, l'augmentation de l'infestation conduit les producteurs à cultiver des variétés moins sensibles aux foreurs que leurs variétés traditionnelles préférées, particulièrement *Majeeri* au lieu de *Safraari* (Perrot et al., 2002).

Vis-à-vis des foreurs de tiges, il existe chez les céréales plusieurs mécanismes de résistance relevant de l'antixénose et de l'antibiose (facteurs chimiques, barrières mécaniques ou mécanismes physiologiques).

Pour ces ravageurs, les mécanismes de tolérance et compensation des céréales sont avérés, mais leur déploiement dans une stratégie de lutte a souvent été « déconseillé », au motif qu'ils contribuent à augmenter les populations de ravageurs dans l'environnement. Certains chercheurs considèrent même qu'un « *moth production index* » (indice de production de papillons) faible, témoignant du niveau d'antibiose d'une variété (cet indice est faible lorsque le nombre de trous de sortie, témoin de l'aptitude des foreurs à achever leur cycle, est faible) devrait être pris en compte comme critère de résistance d'une parcelle (Bessin et al., 1990 ; Van den Berg, 1997).

Il serait pertinent de distinguer les deux aspects de la tolérance : le fait de supporter les attaques d'insectes d'une part (aptitude entrant généralement en jeu en cas d'attaques tardives, comme les galeries larvaires de foreurs peu avant la maturité des céréales), et le fait de les compenser d'autre part (aptitude s'exprimant surtout face aux attaques précoces, aboutissant

notamment aux dégâts de cœurs morts de foreurs)(van den Berg et al., 1994), au lieu de les confondre comme dans la définition d'Horber (1980).

Dans certains cas l'infestation du sorgho par les foreurs peut résulter en une production d'épis, et un rendement, plus importants qu'en l'absence d'attaque (Pathak, 1990 ; Van Rensburg & Van den Berg, 1992). Cela a aussi été observé avec les foreurs du petit mil (Harris, 1962; Nwanze, 1989; Taneja & Nwanze, 1989) et du maïs (Harris, 1962).

Si certains de ces cas peuvent être liés à des problèmes méthodologiques (sous-estimation de la perte du fait d'une possible oviposition sélective des femelles sur les tiges les plus vigoureuses [selon l'hypothèse de la vigueur de la plante de Price (1991)], le sorgho, en tant que graminée (Hawkes & Sullivan, 2001) peut aussi compenser l'attaque des foreurs en produisant des talles ou tiges adventives, dont certaines peuvent produire des panicules pouvant arriver à maturité si la ressource en eau est suffisante (Ajayi, 1998).

Toutefois, contrairement aux cas d'induction de résistances aux attaques ultérieures de phytophages par des attaques précoces (Agrawal, 1998), les cœurs morts et leur compensation se traduisent par des tiges plus fines plus susceptibles de casse en cas d'attaques par les générations suivantes du foreur. Dans ce cas, on se situe à l'opposé de la notion de « résistance induite » qu'on trouve avec d'autres phytophages (Agrawal & Karban, 1999).

2.1.2.3 Résistance aux insectes terricoles des agroécosystèmes à base de riz pluvial à Madagascar

Dans le Vakinankaratra (Hautes Terres centrales de Madagascar), les vers blancs et « scarabées noirs » (particulièrement larves et adultes d'*Heteronychus* spp : Coleoptera, Scarabaeidae) sont considérés comme des ravageurs majeurs du riz pluvial. Les systèmes de semis direct sur couvertures végétales (SCV) (Séguy et al., 2006) sont diffusés en vue de réduire l'érosion et la perte de fertilité des sols de *tanety* (versants des collines) constatées dans les systèmes de culture pluviaux conventionnels avec labour. Alors que dans la région de moyenne altitude du Lac Alaotra (Moyen-Est de Madagascar), on observe en début de saison des dégâts très importants d'*Heteronychus* spp sur le riz pluvial cultivé sur couvertures végétales mortes, sur les Hautes Terres, les attaques par ces insectes ont été au contraire réduites après quelques années de gestion SCV [1.14.3.2].

La grande diversité des situations pédologiques liée aux processus d'orogénèse des hautes-terres et zones de moyenne altitude de Madagascar, compliquée par les variations d'altitude,

le climat subtropical et la grande biodiversité de Madagascar (Wilmé et al., 2006), a résulté en des équilibres biologiques qui peuvent varier énormément sur des distances relativement faibles. Ces différences dans le spectre d'entomofaune et le comportement des espèces peuvent expliquer ces résultats apparemment contradictoires [1.14.3.2].

Les mécanismes potentiels explicatifs en sont en effet nombreux : effets physiques direct du labour (ou de son absence) et de la couverture végétale ; changement de comportement des ravageurs lié à la diversité végétale (à l'instar des systèmes « push-pull » sur foreurs des tiges ; augmentation de l'action des antagonistes (prédateurs, parasites) ; meilleure nutrition de la culture à partir des éléments minéraux dérivés de la décomposition de la matière organique ; résistance induite de la plante aux ravageurs par des mécanismes de non-préférence, de tolérance et de compensation [1.14.3.2].

Si la diminution de l'effet néfaste des vers blancs dans les systèmes SCV a été attribuée surtout à l'augmentation de la biodiversité (déplacement des équilibres faunistiques en faveur des espèces saprophages et prédatrices), ou d'effets de tolérance/compensation au niveau de la plante par une meilleure nutrition, le changement de statut individuel de certaines espèces (à savoir leur passage de celui de ravageur à celui d'auxiliaire/ingénieur du sol), en fonction du statut organique du sol, ne saurait être négligé, sur la base de résultats obtenus notamment en Amérique du Sud.

Ainsi, bien que la présence de vers blancs ait été signalée à Chequen, au Chili, suite à l'introduction de techniques SCV, aucun dégât notable n'a été observé. En particulier, l'action déprédatrice de *Bothynus* sp. de par sa rhizophagie serait compensée par son effet positif sur la structure physico-chimique du sol [plus grande macroporosité, et aptitude à incorporer la matière organique dans les horizons profonds, résultant en une performance des cultures accrue (Crovetto Lamarca, 1999)].

Des recherches récentes au Brésil ont permis de distinguer parmi les vers blancs (Scarabaeidae), ceux de la sous-famille des Dynastinae, qui se nourrissent habituellement sur la matière organique et rarement sur les racines, et ceux de la sous-famille des Melolonthinae, qui se nourrissent surtout sur les racines et moins sur la matière organique. Les espèces rhizophages deviennent dominantes dans les sols où la biodiversité a été réduite. De plus, les conditions environnementales peuvent diminuer la tolérance des plantes à la rhizophagie, ou même changer le statut d'espèces facultativement phytophages t.q. les larves de *Diloboderus* spp., évoluant de la saprophagie à la rhizophagie ou vice-versa (Brown & Oliveira, 2004).

2.1.3 Approche et démarche adoptées

La gestion durable des agroécosystèmes nécessite le développement de méthodes intégrées de protection, voire de production. Ce développement passe par une meilleure compréhension des interactions entre les différents protagonistes : plantes-ravageurs-auxiliaires.

Dans ce contexte, l'approche et la démarche adoptées sont celles de la protection intégrée des cultures (IPM), qui repose sur trois piliers complémentaires :

- 1) Connaissance de la bioécologie des ravageurs pour identifier les points faibles pouvant être exploités particulièrement en termes de résistance variétale, techniques culturales, intervention phytosanitaires ciblées ;
- 2) Mise en œuvre de mesures préventives, d'abord variétales et culturales ;
- 3) Minimisation de l'impact des pesticides de synthèse.

Les études bio-écologiques ont concerné essentiellement les punaises des panicules, les insectes les moins connus.

La biologie de *Sesamia* spp au Tchad a largement été développée dans le cadre de la thèse de K. Djimadounngar (2001).

Les études de base sur la taxonomie, la biologie et l'écologie des principales espèces de vers blancs associées à la riziculture pluviale sont effectuées dans le cadre de la thèse de Richard Randriamanantsoa et ne sont pas rapportées ici.

Les études se sont ensuite concentrées sur la résistance variétale (particulièrement sur les punaises), en étendant les principes à l'ensemble de l'agroécosystème (punaises, mais aussi foreurs, et surtout vers blancs), via des pratiques culturales ou d'aménagement du paysage productif ayant pour objectif de rendre tout l'agroécosystème « résistant » ou « résilient ».

Des études sur la minimisation des effets néfastes des pesticides de synthèse ont été menées parallèlement, mais ne font pas l'objet de présentations détaillées ici. Elles alimentent en revanche la discussion.

2.2 Chapitre 2. Etudes bioécologiques de base sur les punaises des panicules de sorgho

2.2.1 Biologie des punaises des panicules sur le sorgho

Des études détaillées sur les stades pré-imaginaux des punaises des panicules de sorgho *Eurystylus oldi* et *Creontiades pallidus* ont été entreprises au laboratoire et au champ de 1991 à 1993 au Mali, aux fins de mieux comprendre leur bioécologie et plus particulièrement leurs relations au sorgho.

Elles ont notamment montré que les œufs des deux espèces étaient déposés dans les grains en maturation, au stade laiteux, sur la partie exposée hors des glumes. La durée totale du développement pré-imaginal (10 à 18 jours), n'autorise qu'un seul cycle sur une panicule de sorgho en maturation (1.14.4.1 et Figs 1 à 10).

Il est important de tenir compte de cette légère, mais significative différence dans la biologie et le comportement d'*E. oldi* par rapport à *Calocoris angustatus*, la punaise « indienne » des panicules de sorgho, ce qui conduit à des différences dans les sources et mécanismes potentiels de résistance à ces deux ravageurs. En effet, les dégâts de *C. angustatus* ne sont causés que par les piqûres d'alimentation, puisque les œufs sont déposés dans les épillets à la floraison, sans que cela occasionne de lésion aux tissus.

A partir de ces résultats, deux voies de résistance variétale apparaissent : la couverture du grain par les glumes pendant la maturation (c'est le cas des variétés Guinea), ou la rapidité de durcissement du grain au cours de la maturation (c'est ce qui semble être le cas de la variété Malisor 84-7).

2.2.2 Effet des paramètres climatiques sur la dynamique des populations de punaises sur sorgho

Les populations des punaises *E. oldi*, *Campylomma* spp. et *C. pallidus* ont été suivies sur la variété de sorgho ICSV 197, semée à huit dates différentes chaque année de 1992 à 1994 à Samanko au Mali (Figs 11 à 14). Les relations entre facteurs climatiques et populations ont été examinées pour ces trois mirides. L'augmentation des populations larvaires d'*E. oldi* a été favorisée par une faible température maximum et une forte humidité relative minimum et de fortes précipitations pendant les 2-3 semaines précédant le remplissage du grain [1.14.5.7].



Fig. 1. Operculums d'œufs d' *Eurystylus oldi* (au centre) et de *Creontiades pallidus* (en bas à gauche) dépassant de la surface d'un grain de sorgho en maturation

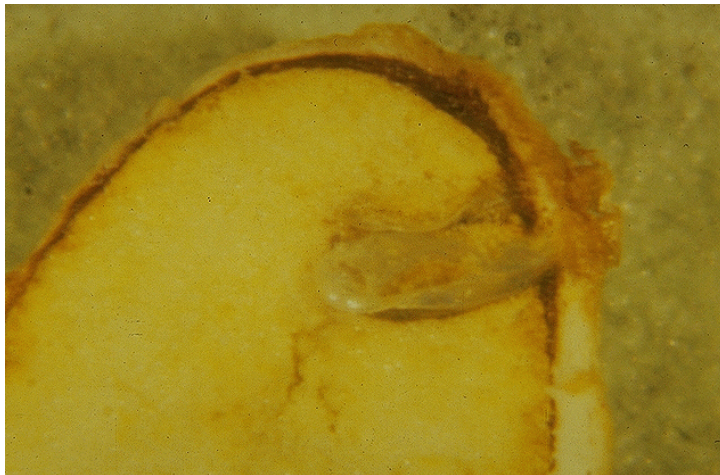
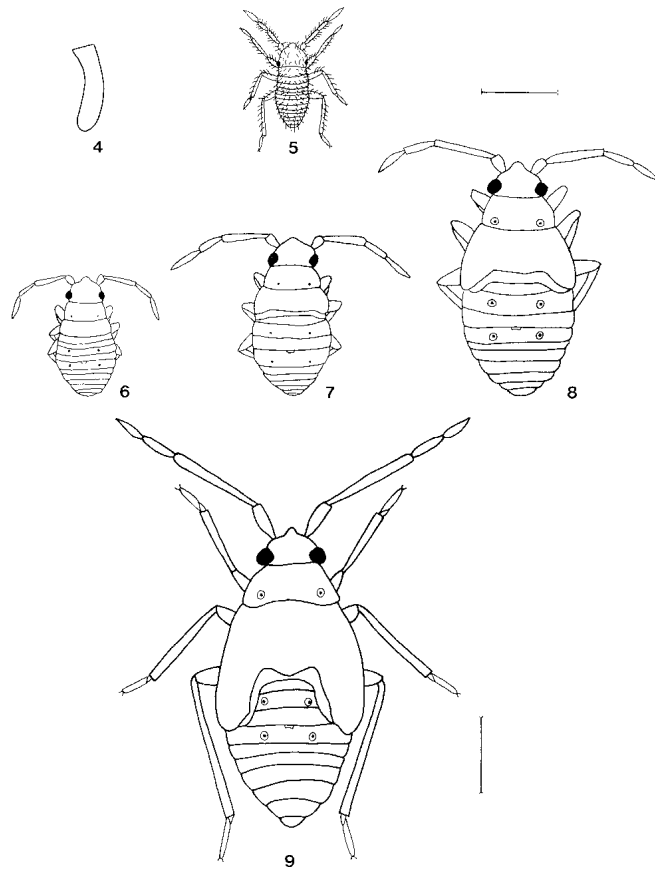


Fig. 2. Vue en coupe d'un grain de sorgho au stade pâteux présentant une coquille d'œuf de punaise miride



Fig. 3. Eclosion d'une larve d' *Eurystylus oldi*



Figs 4-9. Stades pré-imaginaux d'*Eurystylus oldi* : 4. œuf ; 5. larve de 1^{er} stade ; 6. larve de 2^{ème} stade (soies non représentées) ; 7. larve de 3^{ème} stade (soies non représentées) ; 8. larve de 4^{ème} stade (soies non représentées) ; 9. larves de 5^{ème} stade (soies non représentées) ; les traits horizontal et vertical mesurent 1,00 mm.



Fig. 10. Adulte d'*Eurystylus oldi* sur une panicule de sorgho

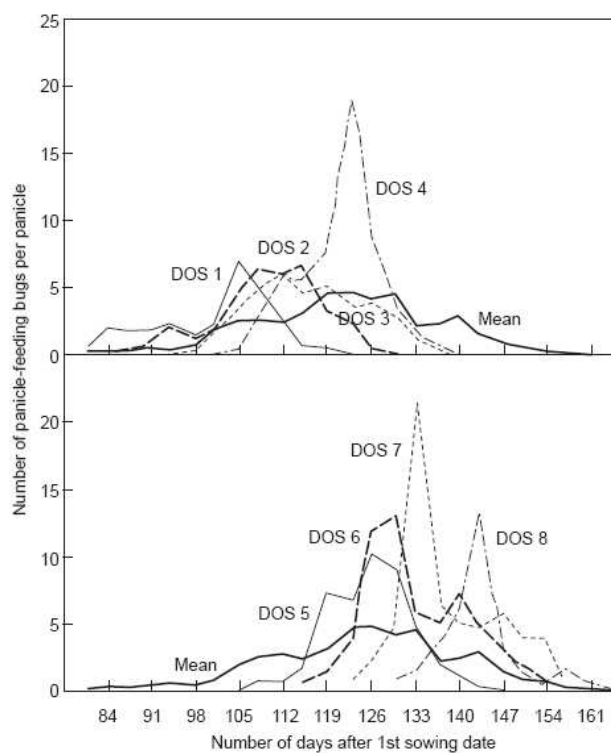


Fig. 11. Dynamique des populations d'adultes d'*Eurystylus oldi* sur la variété de sorgho ICSV 197 semée en huit dates différentes (DOS) à Samanko, Mali (moyennes des saisons culturales 1992 à 1994)

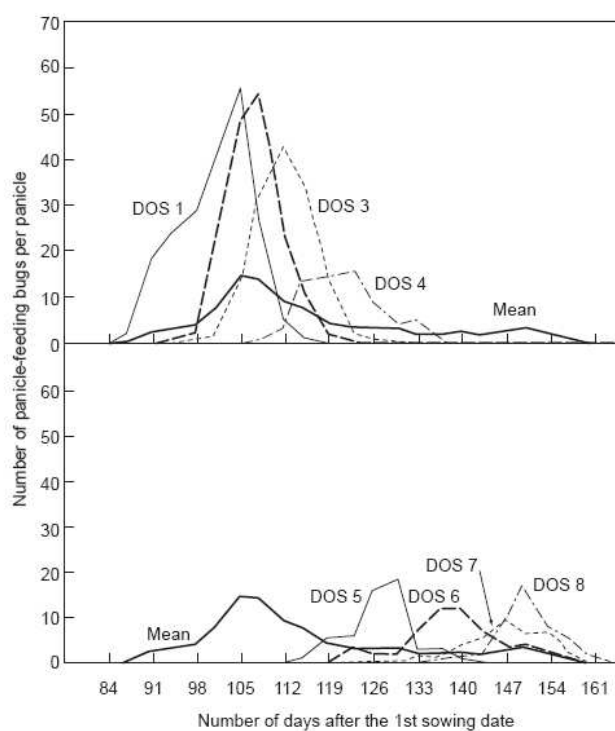


Fig. 12. Dynamique des populations de larves d'*Eurystylus oldi* sur la variété de sorgho ICSV 197 semée en huit dates différentes (DOS) à Samanko, Mali (moyennes des saisons culturales 1992 à 1994)

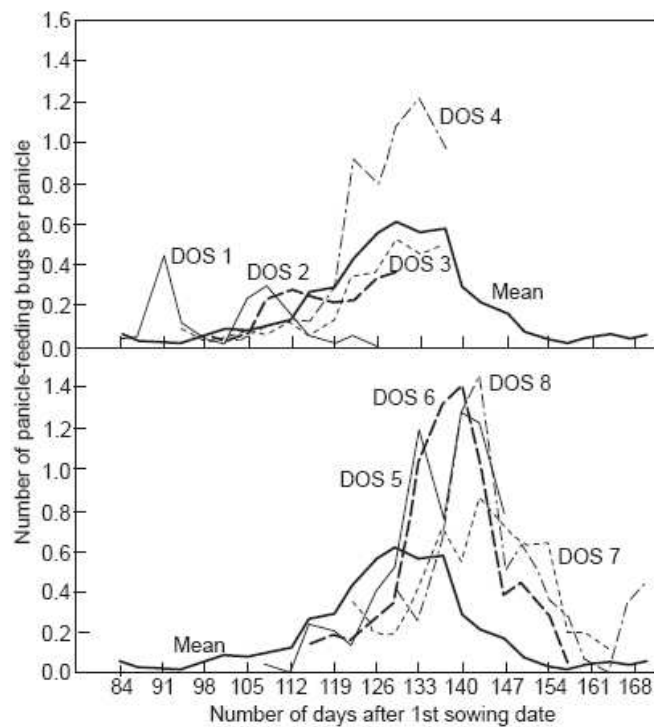


Fig. 13. Dynamique des populations de *Creontiades pallidus* *Campylomma* spp. sur la variété de sorgho ICSV 197 semée en huit dates différentes (DOS) à Samanko, Mali (moyennes des saisons culturales 1992 à 1994)

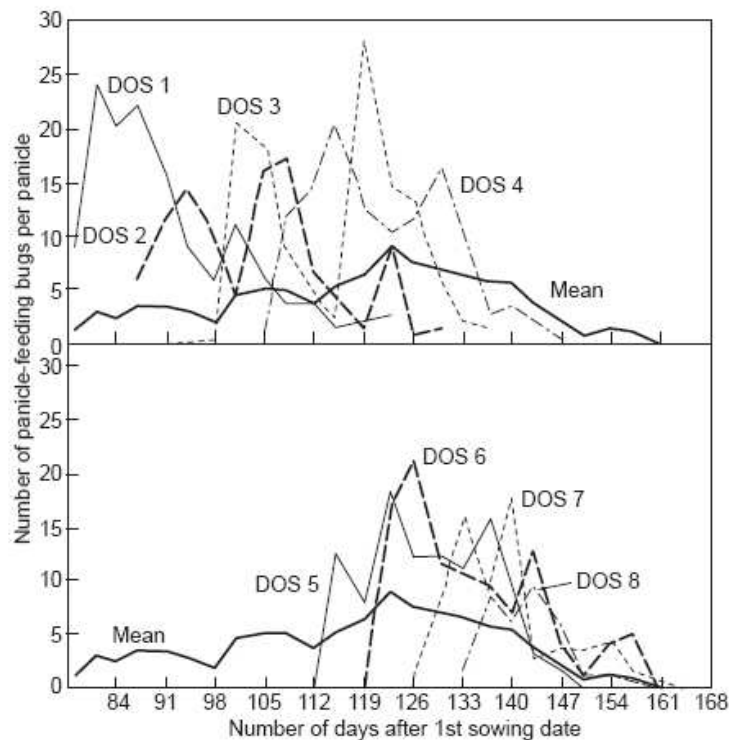


Fig. 14. Dynamique des populations de *Campylomma* spp. sur la variété de sorgho ICSV 197 semée en huit dates différentes (DOS) à Samanko, Mali (moyennes des saisons culturales 1992 à 1994)

L'insecte étant donc affecté négativement par la sécheresse, des voies de résistance variétale envisageables sont la laxité de la panicule, ou la longueur du cycle (ou le photopériodisme), toutes caractéristiques des guinea.

Des semis tardifs pourraient aboutir au même résultat, mais à moins de semis (tardifs) synchrones au niveau de la région, on s'expose au risque d'attaques massives de cécidomyie, sans compter celui lié à une pluviométrie insuffisante.

2.2.3 Hôtes alternatifs des punaises du sorgho

Une recherche des plante-hôtes indigènes alternatives au sorgho pour les punaises des panicules a été entreprise de 1991 à 1995 au Mali à Samanko et dans les villages environnants. Des œufs et des larves de *C. pallidus* et *Campylomma* spp. ont été observés sur plusieurs espèces de *Cassia* (Caesalpiniaceae) et *Crotalaria* (Fabaceae). En revanche seul le ricin *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) (Fig. 15) s'est révélé être un hôte alternatif pour les trois punaises (dont *E. oldi* : Figs 16 & 17) [1.14.4.2].



Fig. 15. Bosquet de ricin (*Ricinus communis*) à Samanko (Mali)



Fig. 16. Larve de 1^{er} stade d'*Eurystylus oldi* sur inflorescence de ricin



Fig. 17. . Larve de 5^{ème} stade d'*Eurystylus oldi* sur inflorescence de ricin

La capacité d'*E. oldi* à se développer aussi bien sur cet arbuste que sur sorgho (durées de développement larvaire moyennes de 10 j sur les deux plantes) peut expliquer au moins partiellement le cycle de cet insecte durant la saison sèche (sans exclure l'éventualité d'un fort ralentissement, sinon un arrêt de développement de l'insecte à un stade ou un autre, vu sa relation à la sécheresse : 1.14.5.7).

Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives de lutte par des méthodes culturales ou phytosanitaires fondées sur la gestion de l'hôte alternatif, ou de l'insecte sur l'hôte alternatif.

2.2.4 Entomofaune auxiliaire en système de culture sorghicole

A Samanko (Mali) de 1993 à 1996, des échantillonnages entomologiques hebdomadaires ont été effectués durant chaque saison de culture sur une parcelle d'1 ha, sans aucune protection chimique, subdivisée en quatre sous-parcelles de 0,25 ha chacune, respectivement en coton, sorgho, arachide et jachère. En 1995, 18 taxons de punaises (*Heteroptera*) ont été reconnus, et identifiés au moins jusqu'au genre, et 36 en 1996. En termes d'effectifs, la famille des Miridae a été dominante sur sorgho, essentiellement du fait de l'abondance d'*E. oldi*, tandis que celle des Pyrrhocoridae, avec *Dysdercus voelkeri*, a largement dominé sur coton, et celle des Pentatomidae, plus précisément la sous-famille des Scutellerinae, avec *Sphaerocoris a. ocellatus* était la plus abondante sur la jachère ; très peu de punaises phytophages ont été collectées sur arachide. Dix espèces de punaises prédatrices, appartenant à 5 familles, ont été récoltées en 1996, notamment *Phonoctonus lutescens* (Reduviidae) sur la jachère, *Geocoris* sp. (Lygaeidae) sur coton et arachide, et *Orius* sp. (Anthocoridae) sur sorgho [1.14.7.27].

Un inventaire qualitatif des punaises prédatrices associées aux panicules de sorgho caudatum infestées par *E. oldi* a été effectué en fin d'hivernages 1994 et 1995, du stade fin-floraison à la maturité. Les stades juvéniles de punaises prédatrices récoltés ont été élevés jusqu'au stade adulte au laboratoire, sur des larves d'*E. oldi* comme proies. *Orius* sp. était abondante à la floraison. Les Reduides étaient *Cosmolestes pictus*, *Pseudophonoctonus paludatus*, *Rhynocoris segmentarius*, *Rhynocoris* sp. & *Phonergates guitati*. Un adulte de *C. pictus* (espèce abondante dans la jachère) a été observé sur une panicule de sorgho, s'alimentant sur une larve de 3^{ème} stade d'*E. oldi*. La durée totale de développement larvaire de *Pseudophonoctonus paludatus* (5 stades), espèce dont des pontes ont été trouvées sur les panicules de sorgho, a été de $45,3 \pm 2,5$ jours (Figs. 18 & 19) [1.14.7.16].



Fig. 18. Ponte de *Pseudophonoctonus paludatus* sur panicule de sorgho



Fig. 19. Adulte de *Pseudophonoctonus paludatus* sur panicule de sorgho

De ces observations, on peut conclure que la gestion des agroécosystèmes devrait viser à conserver les populations d'ennemis naturels des punaises, d'où les précautions d'emploi de la lutte chimique, d'autant que ravageurs et auxiliaires sont taxonomiquement proches.

2.2.5 Effet de la couleur des grains de sorgho sur celle des punaises

Des études menées sur panicules au champ et au laboratoire ont montré que la couleur des punaises (larves et adultes d'*E. oldi*) variait en fonction de celle des grains de sorgho sur lesquels elles se développaient (Fig. 20 & Tableau 3) [1.14.6.6].



Fig. 20. Larves d'*Eurystylus oldi* ayant pris la couleur (rouge) des grains de sorgho (cv. Framida) sur lesquels elles se sont développées

Tableau 3. Couleur des adultes d'*Eurystylus oldi* obtenus en fonction du stade et de la couleur d'origine des larves et de la couleur de la panicule-hôte

panicules larves	ICSH 89002 (TAN)	S34 & ICSV 197 (TAN)	Nagawhite (crazeux)	Sorvato 28 (rouge)	Framida (rouge)
larves de 1^{er} stade vertes (ex S34 & ICSV 197)	-	brun verdâtre avec le dessous vert bleuâtre	brun verdâtre avec le dessous vert bleuâtre	brun rougeâtre avec le dessous vert bleuâtre et de nettes marques rouges sur les segments abdominaux	brun rougeâtre avec le dessous vert bleuâtre et de nettes marques rouges sur les segments abdominaux
larves de 3^{ème} stade vertes (ex ICSH 89002)	brun verdâtre avec le dessous vert bleuâtre	-	-	-	vert clair
larves de 3^{ème} stade rouges (ex Framida)	mâles brun rougeâtre avec le dessous vert bleuâtre	-	-	-	mâles brun rougeâtre avec le dessous vert bleuâtre
	femelles vert bleuâtre des marques rouges sur les segments abdominaux				femelles vert bleuâtre des marques rouges sur les segments abdominaux

Ces résultats expliquent la sous-estimation de l'importance des punaises en tant que ravageurs par les agriculteurs mais aussi les agronomes et les sélectionneurs (de par une sorte de mimétisme de ces insectes), et la confusion dans la taxonomie du genre *Eurystylus* qui a prévalu jusqu'à sa révision par Stonedahl (1995). Ils ouvrent aussi de nouvelles perspectives de gestion, i.e la possibilité de cultiver des variétés rouges précoces résistantes aux moisissures pour que les punaises qui s'y développeraient et infesteraient ensuite les variétés blanches, soient plus vulnérables aux prédateurs.

2.3 Chapitre 3. Caractérisation et utilisation des résistances variétales aux insectes : cas des ravageurs paniculaires du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre

Le Tableau 4 résume les caractéristiques des principales variétés de sorgho mentionnées dans ce chapitre et le suivant.

2.3.1 Caractérisation de différentes formes de réaction variétale du sorgho aux punaises

En 1989 et 1990, 12 variétés ont été évaluées à Samanko et Cinzana (Mali), et Farako-Bâ (Burkina Faso), en deux dates de semis (DS). Les résultats ont confirmé le haut niveau de la résistance aux punaises de Malisor 84-7, à panicule compacte, et CSM 388, variété Guinea local à panicule lâche, pour tous les paramètres mesurés, sous infestation naturelle et artificielle, et les dégâts considérables causés par les punaises aux variétés sensibles comme S 34. Ainsi, les notes maximales d'attaque (sur une échelle visuelle de 1 à 9, par ordre croissant de gravité : Fig. 21) sous infestation naturelle relevées sur 12 essais étaient ≤ 4.0 chez Malisor 84-7 et CSM 388, comparé à >7.0 chez Framida et S 34. Les deux années, l'infestation artificielle par les punaises a entraîné une réduction significative du poids de 1000 grains d'environ 50% chez S 34, la réduction n'étant pas significative chez Malisor 84-7 et CSM 388. Le rendement au décorticage n'était réduit que de 5% chez ces deux variétés, comparé à environ 30% chez S 34 et Gadiaba (variété de race Durra) [1.14.7.9].

Des essais avancés ont ensuite été conduits, sous infestation naturelle et artificielle, en deux DS en 1991 à Samanko et Farako-Bâ, puis une DS en 1992 à Samanko ; ils consistaient en respectivement neuf et 12 variétés de sorgho à panicules compactes (dont 87W810, une descendance avancée d'un croisement entre ICSV 1002 et Malisor 84-7), et un témoin local (CSM 388 à Samanko et Gnofing à Farako-Bâ) [1.14.7.12].

En 1991, sous infestation naturelle, la note visuelle moyenne de Malisor 84-7 sur les deux stations était de 3,6, comparé à 6,7 pour S 34. Sous infestation artificielle, on a relevé des notes de 3,8 pour Malisor 84-7, et 6,9 pour S 34. En 1992, les notes visuelles sous infestation naturelle de CSM 388, Malisor 84-7 et S 34 étaient respectivement de 2,5, 3,2 et 5,7, alors que sous infestation artificielle, les notes de CSM 388, Malisor 84-7, 87W810 et ICSV 197 (le second témoin sensible) étaient de respectivement 3,7, 4,8, 4,5 et 7,7.

Tableau 4. Caractéristiques des principales variétés de sorgho étudiées

Variété	Caractéristiques	Références
78	Ecotype guinea du Burkina Faso	1.14.6.5
87W810	Variété à panicule compacte résistante aux punaises dérivée du croisement ICSV 1002 X Malisor 84-7	1.14.7.12
Bibawili ou Bibalawili	Ecotype de sorgho Guinea du Mali	-
CCGM 1/19-1-1	Descendance d'un croisement entre une panicule caudatum mâle-stérile d'un composite ms3, et d'un écotype guinea d'Afrique australe (N° 50-8 dans la collection sénégalaise)	-
CE 322/35-1-2 & CE 322/53-1-1	Descendances caudatum du croisement Kokologho (du Burkina Faso) X F2-20 (du Sénégal)	-
CEM 326/11-5-1-1	(= CIRAD 406 = ICSV 2001) descendance du croisement entre l'écotype guinea ougandais IS 9225 et la variété caudatum améliorée sénégalaise F2-20	Chantereau et al., 1997
CEM 328/1-1-1-2 & CEM 328/3-3-1-1	Descendances du croisement F2-20 X I-24 (variété caudatum élite du Sénégal)	-
CGM 39/17-2-2	Descendance du croisement entre les variétés guinea de la collection Sénégalaise N° 87-31 et N° 62-15	-
CSM 63	Ecotype guinea précoce du Mali	Shetty et al., 1991
CSM 388	Variété guinea malienne tardive résistante aux punaises	Shetty et al., 1991
Diebana	Ecotype durra-membranaceum de Niono (Mali)	-
E-35-1	Caudatum Zera-Zera d'Ethiopie	-
Framida	(= IS 87441 = ICSV 1001) Kafir d'Afrique australe à panicule compacte et grain rouge, résistante au Striga	-
Gadiaba	Durra à panicule crossée de la zone sahélienne du Mali	-
Gadiabani	= "petit Gadiaba" : nom générique donné par les agriculteurs de la région de Kolokani à toutes les variétés de sorgho améliorées à panicule compacte de type caudatum	-
Gnofing	Ecotype guinea du Burkina Faso	-
Hadien-Kori	Sorgho Heggeri de la vallée du fleuve Sénégal	-
ICSH 89002	Hybride caudatum ICSA38 X ICSV 247	-
ICSV 197	(=SPV 694) Caudatum résistante à la cécidomyie dérivée du croisement IS 3443 X DJ 6514	Agrawal et al., 1987
IRAT 202	variété semi-précoce à grain blanc et couche brune, farineux	
ICSV 905	Variété sélectionnée au Nigeria aux glumes couvrant le grain jusqu'à la maturité et le découvrant ensuite	-
IS 2205	Durra-membranaceum indienne, résistante aux foreurs	Taneja & Leuschner, 1985
IS 14384	Guinea du Zimbabwe, à grain rouge sans couche brune et faible teneur en tannin, résistante à la moisissure	Bandyopadhyay et al., 1988 Jambunathan et al., 1992
IS 15401	Ecotype guinea-caudatum du Cameroun résistant à la cécidomyie	Chantereau et al., 1998
IS 9179 & IS 9182	Variétés à fortes teneurs en tanins et polyphénols pendant la maturation du grain et faible teneur à maturité	-
ISIAP Dorado	Variété à grains blancs originaire de Cuba	Oramas et al., 2002
Majeeri	Variété de sorgho Muskuwaari du Nord-Cameroun, précoce, rustique et résistant aux foreurs	Perrot et al., 2002
Malisor 84-7	(=83-F6-225) Variété à panicule compacte résistante aux punaises dérivée de la population en pollinisation libre de sorghos du Mali	Shetty et al., 1991
S 34	Caudatum sensible aux punaises du NCRE	Dangi & Djonnewa, 1988
Safrari	Variété de sorgho Muskuwaari du Nord-Cameroun, productif et à qualité de grain appréciée	Perrot et al., 2002
Souroukougou	Ecotype caudatum nain photopériodique à cycle long de Sikasso (Sud-Mali)	Ouattara et al., 1998

Tableau 5. Echelle de notation visuelle des attaques de punaises sur sorgho

Note	Symptômes
1	Tous les grains bien développés, dont <10% présentant des piqûres d'alimentation
2	Grains bien développés, dont 11 à 50% présentant des piqûres d'alimentation, pas d'œufs, ni de brunissement/flétrissement
3	51 à 75% des grains avec piqûres d'alimentation, quelques œufs, pas de brunissement/flétrissement
4	>75% des grains avec piqûres d'alimentation ou d'oviposition, dont quelques uns (<5%) présentant un début de brunissement
5	Quelques grains ($\leq 25\%$) brunis ou flétris du fait des piqûres d'alimentation ou d'oviposition de punaises
6	26 à 50% des grains brunis ou flétris
7	51 à 75% des grains brunis ou flétris
8	>75% des grains brunis ou flétris
9	>75% des grains non développés et à peine visibles hors des glumes



Fig. 21. Dégâts de extrêmes de punaises (note d'attaque = 9) sur une variété de sorgho sensible

En 1991, Malisor 84-7, 87W810 et CSM 388 sous infestation artificielle, n'ont pas accusé de réduction significative du rendement au décortiquage, contrairement à S 34, qui l'a vu réduit de 55%. En 1992, sous infestation artificielle, ISIAP Dorado, Malisor 84-7, CSM 388 et 87W810 ont accusé des réductions <20% du poids de 1000 grains, comparé à 48% pour S 34, et 59% pour Hadien-Kori. Chez cette dernière variété, la perte quantitative était encore aggravée par une réduction de 94% du rendement au décortiquage. Cette année, le taux de germination était voisin pour les grains des panicules protégées de toutes les variétés (94% en moyenne), tandis qu'il y avait de grandes différences pour ceux des panicules soumises à l'infestation artificielle, les seules variétés ayant un taux de germination >55% étant CSM 388, Malisor 84-7 et 87W810.

Cette étude a permis de caractériser les impacts respectifs des piqûres d'alimentation et d'oviposition dans le dégât global. En effet, sur l'essai conduit à Farako-bâ en 1991, on a divisé à maturité, les grains provenant de panicules soumises à l'infestation artificielle d'*E. oldi*, de quatre variétés (ISIAP Dorado, S34, Malisor 84-7 & Gnofing), en trois catégories : indemnes ; présentant seulement des piqûres d'alimentation ; présentant des piqûres

d'alimentation et d'oviposition (en l'absence de grains présentant seulement des piqûres d'oviposition). Sur chaque fraction, on a mesuré le poids de 1000 grains, la proportion de grains à faible densité, la vitrosité et le taux de germination.

Les résultats ont montré qu'une combinaison d'oviposition et d'alimentation était plus destructrice que l'alimentation seule. Cependant, cette combinaison, comparée à l'alimentation seule, ne s'est pas traduite par une réduction marquée du poids de 1000 grains (notamment sur la variété locale Guinea et la variété résistante Malisor 84-7), alors qu'elle s'est traduite par une importante réduction de la vitrosité sur toutes les variétés, une augmentation de la proportion de grains à faible densité (sauf chez Gnofing), et une réduction de la faculté germinative (sauf chez Malisor 84-7) [1.14.7.14].

Enfin, d'autres études ont été conduites à Samanko en 1995 et 1996, en vue d'identifier de nouvelles sources de résistance à *E. oldi*, impliquant des facteurs (chimiques ou physiques) autres que ceux rencontrés chez Malisor 84-7 et ses descendances, pour élargir la base génétique de la résistance [1.14.7.28].

Les variétés IS 9179 et IS 9182, caractérisées par de fortes teneurs en tannin et polyphénols pendant la maturation du grain (mais plus faibles à maturité), et ICSV 905, caractérisée par des glumes couvrant le grain jusqu'à maturité, ont été évaluées sous infestation naturelle de punaises en 1995, et artificielle en 1996, avec Malisor 84-7 et CSM 388 comme témoins résistants, et S 34, comme témoin sensible.

En 1996, on a évalué neuf variétés, à savoir CE 322/35-1-2 et CE 322/53-1-1, deux lignées caudatum élite dérivées du croisement Kokologho X F2-20, sélectionnées respectivement par les programmes d'amélioration du sorgho du Burkina Faso et du Sénégal, 78, un écotype guinea du Burkina Faso, E-35-1, un caudatum Zera-Zera d'Ethiopie, IS 15401, un guinea-caudatum local du Cameroun, Souroukougou, un écotpe caudatum nain de Sikasso (Mali), photopériodique à cycle long, et les témoins S34, Malisor 84-7 et CSM 388.

L'absence de corrélation entre résistance aux punaises et teneur en tannins et polyphénols durant la maturation du grain (variétés IS 9179 et IS 9182), a confirmé certains résultats antérieurs où des variétés à grain rouge (comme Framida) ou à couche brune, s'étaient montrés sensibles. Les bons résultats de IS 15401 vis-à-vis des punaises comparés à ceux de 78 et CSM 388 (deux Guineas) et de Malisor 84-7 s'ajoutent à sa résistance à la cécidomyie observée par ailleurs. Les facteurs explicatifs de cette double résistance, si elle est avérée, demandent à être explorés.

2.3.2 Caractérisation de l'interaction punaises-moisissures et de l'effet des paramètres climatiques sur les moisissures du grain

Un essai régional de résistance du sorgho aux punaises et aux moisissures a été conduit en 1996 et 1997 dans respectivement 15 et 13 stations de 10 pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre [1.14.4.8 & 1.14.4.7].

Seules deux variétés Guinea (IS 14384 et CGM 39/17-2-2) ont présenté régulièrement de hauts niveaux de résistance aux punaises (essentiellement *E. oldi*) et aux moisissures (essentiellement *Phoma*, *Fusarium* et *Curvularia*) sur les deux ans et tous les sites.

L'efficacité du traitement insecticide dans la réduction de l'incidence des punaises, mais aussi des moisissures, a partiellement confirmé le rôle critique joué par les punaises dans l'aggravation des dégâts de moisissures [1.14.7.14].

Toutefois, les variétés à grains blancs Malisor 84-7 et 87W810, résistantes aux punaises, se sont montrées sensibles aux moisissures (les variétés résistantes aux moisissures se caractérisent généralement par leurs grains rouges ou la présence d'une couche brune, caractères qui ne sont pas corrélés avec la résistance aux punaises).

Sur les données de cet essai, on a examiné les relations entre facteurs climatiques et dégâts de punaises, et entre facteurs climatiques et dégâts de moisissures, avec le logiciel « Window » (Coakley et al., 1988).

La variabilité de l'entomofaune s'est traduite par l'absence de corrélation significative entre les dégâts de punaises et les facteurs climatiques considérés, car deux espèces appartenant à une même famille (Miridae) peuvent montrer des relations opposées aux facteurs climatiques [1.14.5.7].

En revanche, dans le cas des moisissures, de hautes valeurs de l'humidité relative (HR) durant le début de la phase de croissance (5-40 JAS) d'une part, et entre la fin de la floraison et la récolte (65-125 JAS) d'autre part, ont été fortement corrélées avec l'incidence des moisissures. Les relations entre HRmax et notes de dégâts de moisissures étaient clairement non linéaires, montrant une nette augmentation des notes quand l'HR dépassait un seuil d'environ 95% (Figs 22 & 23).

Cela est à relier à des résultats non publiés de Butler & Bandyopadhyay selon lesquels en conditions contrôlées, une sporulation significative des principaux champignons responsables

des moisissures des grains (sporulation nécessaire à l'expression des symptômes de ces moisissures), n'était observée que pour des HR \geq 95%.

Une forte HR pendant la 1ère phase critique pourrait favoriser l'infection de jeunes plants de sorgho, à partir d'un inoculum tellurique ou sur résidus à la surface du sol, ou encore d'hôtes alternatifs. Plus tard, les sites d'infection primaire pourraient servir de source d'inoculum secondaire pour l'infection des panicules.

Sous réserve de confirmation par des études épidémiologiques, cela ouvre des perspectives pour contrôler les moisissures au niveau de la parcelle, par une lutte chimique ciblée par exemple. Cela dans un contexte où la résistance aux moisissures n'est pas aussi systématiquement liée à la résistance aux punaises qu'on le pensait [1.14.4.8].

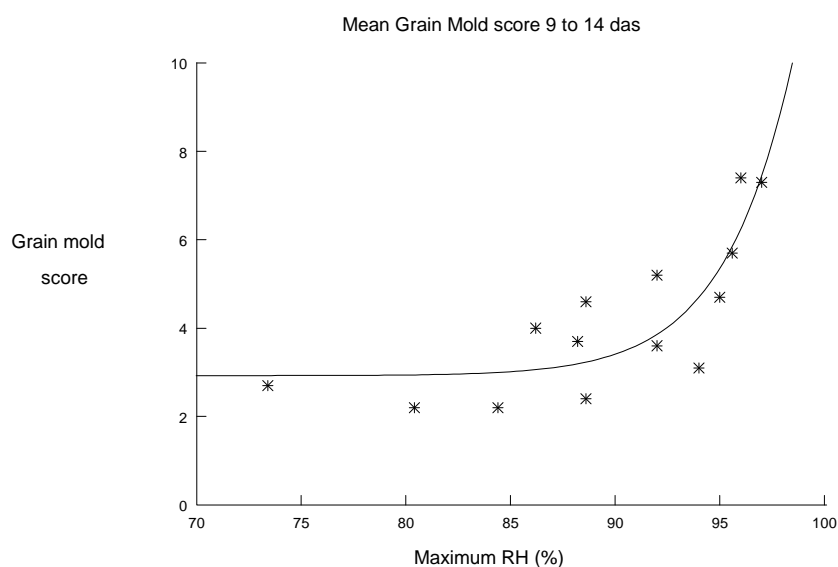


Figure 22. Relation entre l'HR Maximum et la note visuelle d'infection par les moisissures pour la moyenne des 21 variétés [9 à 14 JAS: équation de la courbe : $y = 11.13 \cdot (x/100)^{29.84} + 2.93$ ($r^2 = 0.71$)].

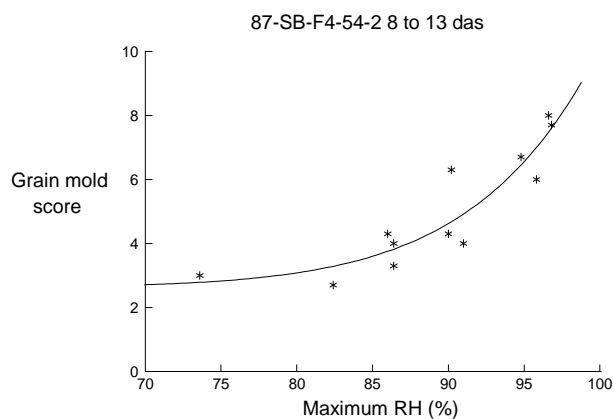


Fig.23a. 9 à 14 JAS: équation de la courbe : $y = 7.45*(x/100)^{12.5} + 2.64$ ($r^2 = 0.84$)

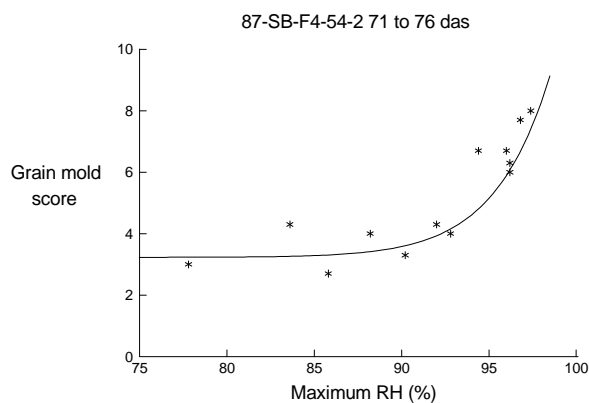


Fig.23b. 71 à 76 DAS: équation de la courbe : $y = 9.44*(x/100)^{25.8} + 3.23$ ($r^2 = 0.87$)

Figure 23. Relations entre l'HR Maximum et la note visuelle d'infection par les moisissures pour la variété particulière 87-SB-F4-54-2.

2.3.3 Caractérisation d'un facteur probable de résistance variétale du sorgho aux punaises

Les caractéristiques des glumes ne semblant pas liées à la résistance aux punaises trouvée chez Malisor 84-7, il a été suggéré que le facteur de résistance en cause pourrait être un durcissement du grain particulièrement rapide dans cette variété (Sharma et al., 1994 ; Touré et al., 1992).

Aussi, nous avons mesuré en 1991 et 1992 à Montpellier (France), divers paramètres physico-chimiques sur les grains en maturation de trois variétés de sorgho (Malisor 84-7, résistant ; S 34, sensible ; et IRAT 202, intermédiaire), à savoir la dureté du péricarpe et de l'albumen [au moyen d'un pénétromètre INSTRON 4301® Universal Food Testing Machine (Bergvinson et

al., 1994) auquel était adapté un mandrin muni d'une minutie de diamètre 0,2 mm] et les teneurs en composés phénoliques libres et tanins (Fig. 24).

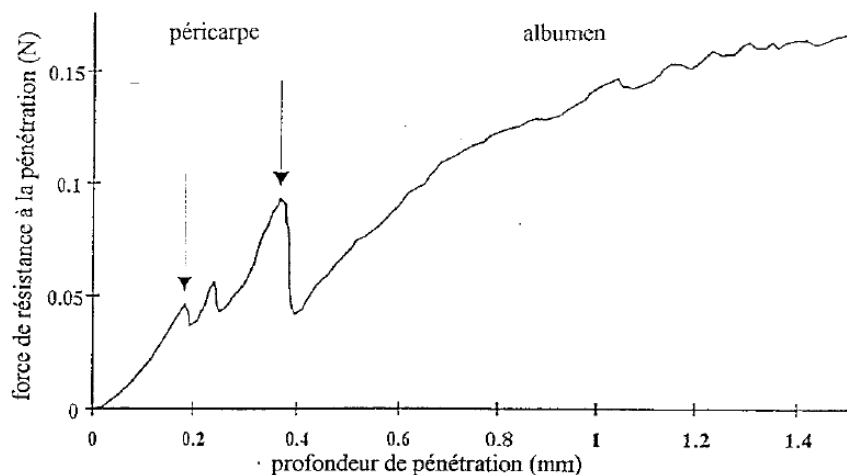


Fig. 24. Courbe-type obtenue lors des tests de pénétration des grains de sorgho (Instron®4301)

Les teneurs en composés phénoliques et tanins se sont révélées négligeables chez Malisor 84-7, tout comme chez S 34, alors qu'elles étaient élevées chez IRAT 202 (0,3 mg de polyphénols et >1 mg de tanins par caryopse, 3 semaines après anthèse). En revanche, l'albumen de Malisor 84-7 s'est révélé plus dur en cours de maturation, à l'inverse de son péricarpe (Fig 25).

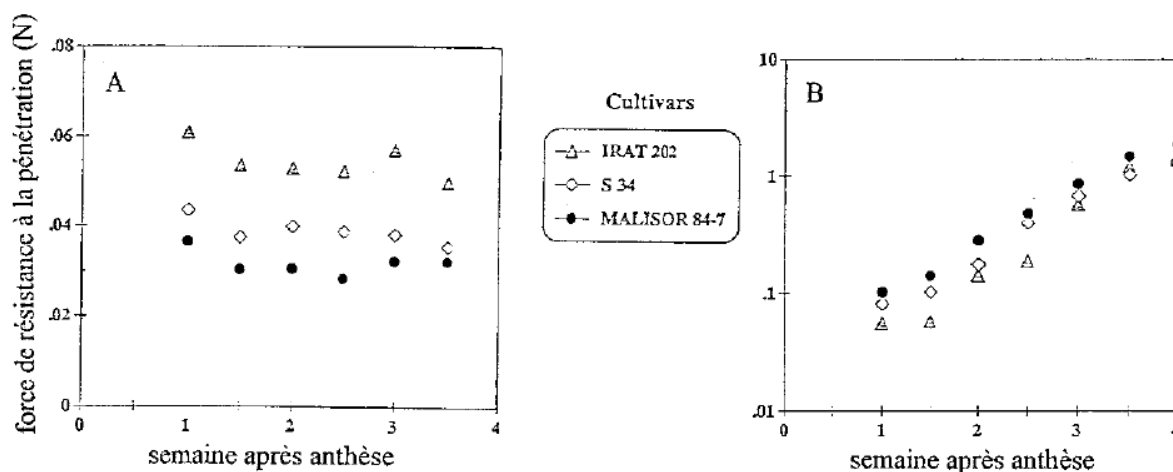


Fig. 25. A. Evolution de la force de résistance offerte par la couche extérieure du péricarpe de 3 variétés de sorgho durant la maturation du grain

B. Evolution de la dureté de l'albumen de 3 variétés de sorgho de la 1^{ère} à la 4^{ème} semaine après anthèse, à 1,5 mm de profondeur

(Essais 1991, mesures réalisées avec une minutie de diamètre 0,2 mm)

La résistance de Malisor 84-7 peut alors être attribuée au durcissement plus rapide de l'albumen des grains, réduisant ainsi la période de sensibilité aux attaques et la gravité des dégâts (piqûres de nutrition et de pontes). L'action sur les populations d'insectes s'apparente donc à l'antibiose, ou la non-préférence à l'oviposition. Toutefois, la vitesse supérieure de durcissement de Malisor 84-7 se traduit également par une taille et un poids de grain inférieurs à ceux des variétés sensibles [1.14.7.15].

2.3.4 Utilisation des résistances variétales aux punaises

Les résultats rapportés ci-dessus reflètent la stabilité de la résistance aux punaises rencontrée chez Malisor 84-7. D'autre part, la performance de la variété 87W810 (cf. supra : 1.14.7.12) traduit la possibilité de combiner par sélection généalogique, la résistance aux punaises et de bonnes performances agronomiques. D'autres études ont cependant été menées pour déterminer les stratégies de sélection les plus adaptées.

2.3.4.1 Etude de l'hérédité de la résistance du sorgho aux punaises et à la cécidomyie

Une étude de l'hérédité de la résistance du sorgho à *E. oldi* et à la cécidomyie *S. sorghicola* a été entreprise en 1995 et 1996 au Mali, sur un diallèle complet à partir des F2 de croisements de quatre parents, à savoir les variétés résistantes Malisor 84-7 et 87W810, et les variétés sensibles S 34 et ICSV 197 (cette dernière étant résistante à la cécidomyie).

Les analyses diallèles ont montré que l'aptitude générale à la combinaison (AGC) et donc les effets géniques additifs étaient très importants dans l'hérédité de la résistance aux deux ravageurs. L'aptitude spécifique à la combinaison et les effets maternels étaient généralement d'importance mineure.

La performance moyenne des parents et leurs effets AGC étaient liés, suggérant une forte héritabilité. Les parents résistant aux punaises, Malisor 84-7 et 87W810, avec un haut niveau de résistance intrinsèque et une AGC négative, pourraient donc être utilisés pour la sélection pour la résistance à ce ravageur, et pour la même raison, ICSV 197 devrait être utilisé pour la sélection pour la résistance à la cécidomyie.

Les valeurs d'AGC ont montré que la discrimination entre parents résistants était meilleure sous infestation naturelle (donc en conditions de choix multiple) qu'artificielle (donc en

conditions de choix unique). Cela traduit une probable composante de non-préférence chez Malisor 84-7 en comparaison de 87W810 [1.14.4.6].

Le fait que les résistances aux deux ravageurs soient indépendantes indique qu'il est possible de combiner résistance aux punaises et à la cécidomyie.

2.3.4.2 Cartographie de QTLs de résistance aux punaises des panicules chez le sorgho

Dans une étude réalisée de 1997 à 2000, des QTLs ont été cartographiés sur une descendance F2 dérivée d'un croisement entre la variété de sorgho résistante aux punaises Malisor 84-7 et la variété sensible S 34 [1.14.5.8] L'évaluation phénotypique a été effectuée à Samanko (Mali) sur les critères suivants :

- NOTF2 = notation visuelle de l'attaque par les punaises des panicules F2 sous infestation artificielle ;
- NOTF3 = notation visuelle de l'attaque par les punaises des panicules F3 sous infestation naturelle ;
- %TKW = différence relative entre les poids de 1000 grains des parties protégées et infestées des panicules F2 ;
- DGER= différence absolue entre les % de germination des grains issus des parties protégées et infestées des panicules F2.

La recherche de QTLs et la cartographie ont été effectuées à Montpellier. La population cartographiée a consisté en 217 plantes F2, sur lesquelles 345 sondes RFLP homologues et hétérologues, et 49 marqueurs microsatellites ont été testés.

Quatre-vingt-un marqueurs RFLP ont révélé un polymorphisme entre les deux parents, et 14 marqueurs microsatellites ont donné des produits d'amplification utilisables. Une carte génétique avec 92 loci répartis sur 13 groupes de liaison (GL), et couvrant une distance totale de 1160 cM a été construite. Trois QTLs significatifs ont été détectés et placés sur la carte (Fig. 26). Sept QTLs putatifs ont également été détectés.

Le QTL concernant la réduction du poids de 1000 grains (PMG), détecté sur le GL C2, dont la résistance, dominante, est déterminée par l'allèle de Malisor 84-7, est situé dans la même région du GL C où un QTL du PMG a été trouvé par Rami et al. (1998).

Concernant la note F3, la résistance d'un QTL, détecté sur le GL D, était récessive et déterminée par l'allèle de S34, et celle d'un QTL détecté sur le GL E, était récessive et déterminée par l'allèle de Malisor 84-7.

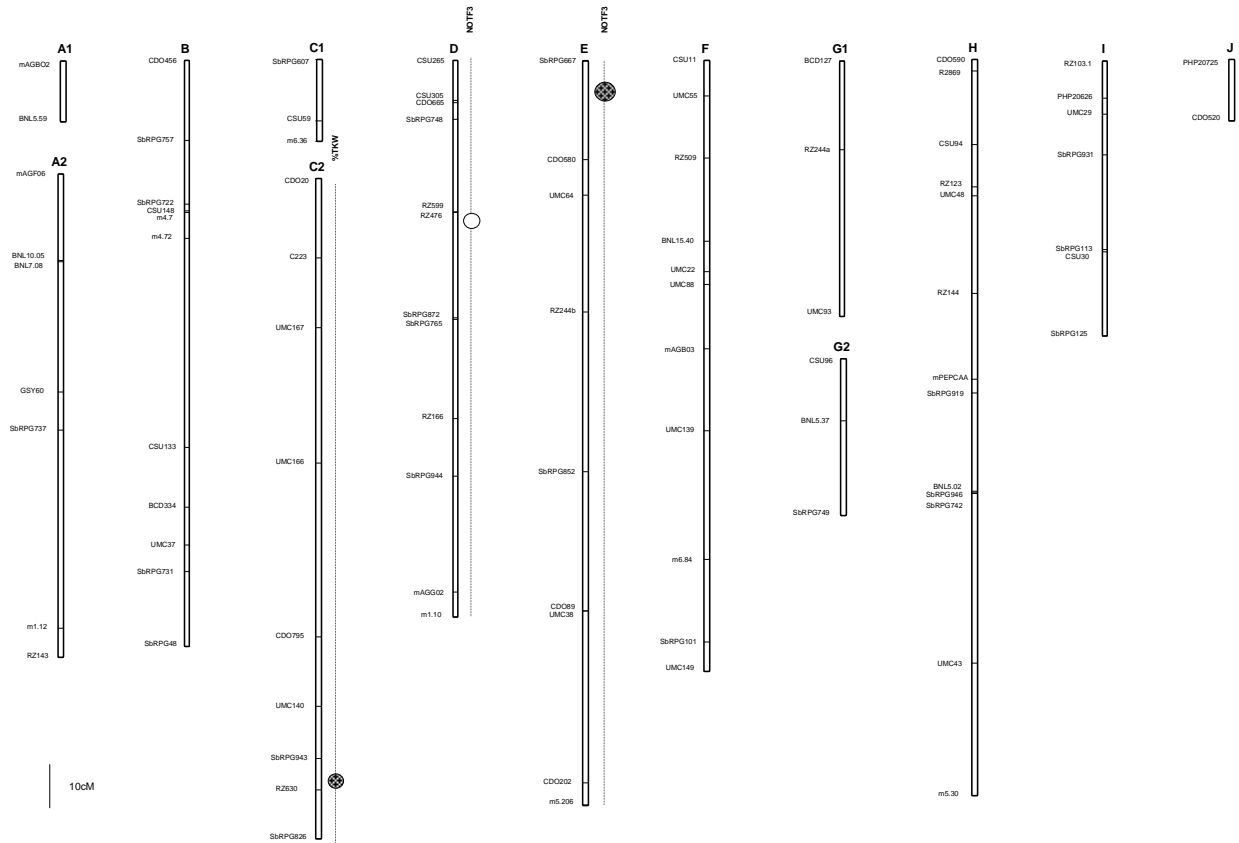


Fig. 26. Carte génétique et localisation des QTLs significatifs pour la résistance aux punaises chez le sorgho.

Chaque QTL détecté avec une note de LOD >3,0 est représenté par un cercle situé sur son pic de LOD.

Ces résultats confirment partiellement la nature récessive de la résistance aux punaises mise en évidence précédemment [1.14.4.6]. L'absence de corrélation entre les notations NOTF2 & NOTF3 suggère l'existence possible de mécanismes de résistance différents sous infestation naturelle et artificielle. Les résultats indiquent l'existence de gènes de résistance chez le parent sensible [1.14.5.8].

Toutefois, on n'en est pas encore au stade d'envisager la sélection assistée par marqueurs pour l'amélioration variétale pour la résistance aux punaises. Il faudrait pour cela un nouveau phénotypage des familles dérivées de ce croisement, avec test multilocal.

2.3.4.3 Sélection d'une variété de sorgho productive combinant résistance à la cécidomyie et aux punaises

On a réussi à combiner, par croisement, les facteurs conférant la résistance à la cécidomyie et aux punaises. Cela a été obtenu en croisant les variétés Malisor 84-7 et ICSV 197 [1.14.6.11]. Ce croisement (CCAL 1) a été effectué durant l'hivernage 1992 à Samanko. Une sélection généalogique a été effectuée sur les générations F2, F3, F4 et F5 sous infestation naturelle à Samanko pendant les saisons des pluies de 1993 à 1996.

La parcelle F2 a compris environ 2000 plantes, tandis que les parcelles F3 à F5 ont consisté en environ 100 plantes. CIRAD 441 a été sélectionnée en tant que lignée combinant résistance à la cécidomyie et aux punaises, avec le no. de sélection CCAL 1/13-1-1-1 en 1996, en même temps que neuf autres lignées F6 du même croisement.

La génération F6 a été évaluée sous infestation naturelle au Mali, en 1997 à la fois à Samanko et Longorola. La génération F7 a été évaluée sous infestation naturelle de cécidomyie et infestation artificielle de punaises en fin de saison des pluies 1998 à Samanko.

En 1999, CIRAD 441 a été évaluée sous forte pression naturelle de cécidomyie et de punaises à Samanko, et a été incluse dans un test préliminaire de rendement.

Des analyses complémentaires de qualité du grain ont été effectuées à Montpellier en 2000.

CIRAD 441 a montré des niveaux élevés et stables de résistance à la fois à la cécidomyie et aux punaises, avec un rendement supérieur aux autres variétés évaluées, et une vitrosité du grain égale à celle de son parent résistant Malisor 84-7 [1.14.6.11].

En 2000 et 2001, CIRAD 441 a été évaluée dans le cadre de tests en milieu paysan dans les régions Est et Centre-Ouest du Burkina Faso, où elle a confirmé sa double résistance à la cécidomyie et aux punaises, avec un gain de production de 140% comparé aux variétés locales utilisées comme témoins (Dakouo et al., 2005).

Au vu des résultats rapportés par ailleurs [1.14.5.8], CIRAD 441 pourrait être la résultante d'une ségrégation transgressive (héritant de QTLs de résistance de son parent sensible). Toutefois, on peut mentionner une sorte de « coût » de la résistance (grains plus petits : cf. 1.14.7.15), même s'il s'agit là d'un abus de langage, car étant le résultat d'un compromis au niveau du sélectionneur, du producteur ou du consommateur plutôt qu'à celui de la plante.

2.3.4.4 Etude au niveau paysan de l'effet de la résistance variétale du sorgho et de la taille de la parcelle cultivée sur l'infestation et les dégâts de punaises

La réaction de quatre variétés de sorgho à l'infestation et aux dégâts de punaises a été mesurée sur des petites et des grandes parcelles durant deux ans dans trois villages de la région de Kolokani (Mali) [1.14.4.9].

La variété Guinea locale Bibalawili a été régulièrement la moins infestée et endommagée, quelle que soit la taille de la parcelle, suivie par Malisor 84-7, tandis que l'hybride ICSH 89002 et Gadiabani ont été les plus attaqués.

Lorsque situées en bordure de grandes parcelles de variétés sensibles, les petites parcelles des quatre variétés prises en bloc étaient moins infestées et endommagées (effet dilution) que lorsque situées en bordure de grandes parcelles de variétés résistantes (effet concentration) (Tableau 6). A l'inverse, lorsque situées au milieu de grandes parcelles de variétés sensibles, elles étaient plus infestées et endommagées (effet contamination) que lorsque situées au milieu de grandes parcelles de variétés résistantes (effet protection) (Tableau 7).

Dans les grandes parcelles, les populations et dégâts de punaises étaient plus importants en bordure qu'au centre (Tableau 8). Ces résultats apportent des éléments de réponse aux importantes différences d'infestation et dégâts de punaises observées dans des tests variétaux menés en petites parcelles en milieu paysan, comparé aux niveaux observés dans des champs paysans cultivés avec certaines des mêmes variétés.

Cela devrait conduire les sélectionneurs à ne pas s'en tenir aux résultats de tests en petites parcelles, mais d'en conduire en plus grandes parcelles. Au-delà de la seule taille de parcelles, ils devraient aussi prendre en compte l'environnement génotypique de leurs parcelles d'essais. Les effets de dilution par l'extension des surfaces cultivées en variétés sensibles ne sauraient à long terme être considérés comme méthode de gestion des ravageurs, pas plus que la non-préférence, l'insecte étant à terme placé en conditions de non-choix [1.14.4.9].

Tableau 6. Notes visuelles d'attaque par les punaises des panicules observées en petites parcelles : analyse combinée des données de Tioribougou, Wénia et Ntiobougou en 1997

Cultivars en : Petites parcelles	Bibalawili	Gadiabani	ICSH 89002	Malisor 84-7	Moyenne
Grandes parcelles					
Bibalawili	1.63	3.47	4.10	2.43	2.91a
Gadiabani	1.73	2.73	2.93	2.07	2.37b
ICSH 89002	1.80	3.07	3.13	2.13	2.53ab
Malisor 84-7	1.67	3.40	3.40	2.27	2.68ab
Moyenne	1.71C	3.17A	3.39A	2.23B	2.68

Les moyennes à l'intérieur d'un même colonne suivies par la même lettre en minuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Les moyennes à l'intérieur d'un même ligne suivies par la même lettre en majuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Tableau 7. Notes visuelles d'attaque par les punaises des panicules observées en petites parcelles : analyse combinée des données de Tioribougou, Wénia et Ntiobougou en 1998

Cultivars en : Petites parcelles	Bibalawili	Gadiabani	ICSH 89002	Malisor 84-7	Moyenne
Grandes parcelles					
Bibalawili	2.10	4.50	5.52	3.38	3.88ab
Gadiabani	1.70	4.67	5.93	3.73	4.01a
ICSH 89002	1.97	4.37	6.87	2.67	3.97a
Malisor 84-7	1.80	3.93	4.80	2.93	3.37b
Moyenne	1.89D	4.37B	5.78A	3.18C	3.82

Les moyennes à l'intérieur d'un même colonne suivies par la même lettre en minuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Les moyennes à l'intérieur d'un même ligne suivies par la même lettre en majuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Tableau 8. Effet de la distance à la bordure de la parcelle (DBP) et du cultivar en grande parcelle sur les dégâts de punaises des panicules (analyse combinée des données de Wénia et Ntiobougou en 1997 et 1998)

Grandes parcelles	Bibalawili	Gadiabani	ICSH 89002	Malisor 84-7	Moyenne
niveau de DBP					
Bordure	1.86	3.93	5.03	3.17	3.50a
Centre	1.65	3.30	4.08	2.55	2.89b
Moyenne	1.76D	3.61B	4.55A	2.86C	2.91

Les moyennes à l'intérieur d'un même colonne suivies par la même lettre en minuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Les moyennes à l'intérieur d'un même ligne suivies par la même lettre en majuscules ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Bonferroni

Cet effet « petite parcelle » que nous avons mis en évidence pourrait partiellement expliquer la forte infestation observée en tests paysans à Tioribougou en 1995, mais ceux-ci pourraient aussi être dus à la présence cette année d'une parcelle de ricin à proximité des parcelles de tests [1.14.4.2 & 1.14.6.7].

Indépendamment de ce contexte particulier, nos résultats mettent en exergue une grande variété d'effets possibles en jeu, ou bien en synergie, ou bien en antagonisme : dilution, concentration, contamination ou protection.

2.4 Chapitre 4. Mise en évidence et évaluation d'options de gestion culturelle des insectes ravageurs des céréales tropicales

2.4.1 Gestion des populations de punaises sur le ricin pour réduire l'infestation du sorgho

Des études ont été menées en milieu paysan en 1998 et 1999 dans respectivement cinq et 16 villages de la région de Kolokani (Mali), pour déterminer le statut du ricin en tant que source d'infestation du sorgho par *E. oldi*, et évaluer les possibilités de gestion de cette plante-hôte alternative, en combinaison avec la manipulation de la date de semis et l'utilisation de la résistance variétale, comme options possibles de gestion de ce ravageur ([1.14.6.7].

En 1998, l'infestation et les dégâts de punaises aux panicules de sorgho dans les parcelles situées à proximité du ricin ont été significativement supérieurs à ceux observés sur les parcelles sans ricin à proximité. En 1999, la gestion du ricin ou bien par traitement insecticide ou bien ablation des inflorescences sur les plantes voisines des parcelles d'essais, immédiatement avant la floraison du sorgho, a significativement réduit l'infestation des panicules de sorgho par les punaises (Figs 27 à 30).

Ces résultats démontrent le rôle joué par le ricin comme une source significative d'infestation du sorgho par les punaises (ils pourraient à ce titre expliquer partiellement les fortes infestations observées sur tests paysans à Tioribougou en 1995), et les perspectives de réduction de l'infestation et des dégâts de ces ravageurs, conjointement avec l'utilisation de la résistance variétale et dans une moindre mesure la date de semis, dans des programmes de lutte intégrée.

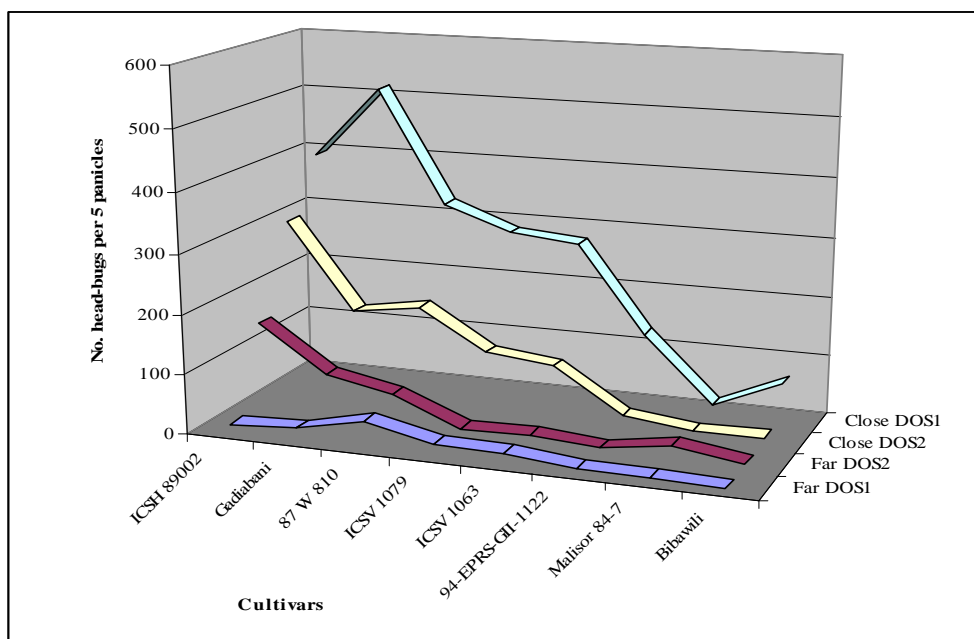


Fig. 27. Effet de la proximité avec le ricin, de la date de semis et de la variété sur l'infestation du sorgho par les punaises des panicules (région de Kolokani, Mali, 1998)

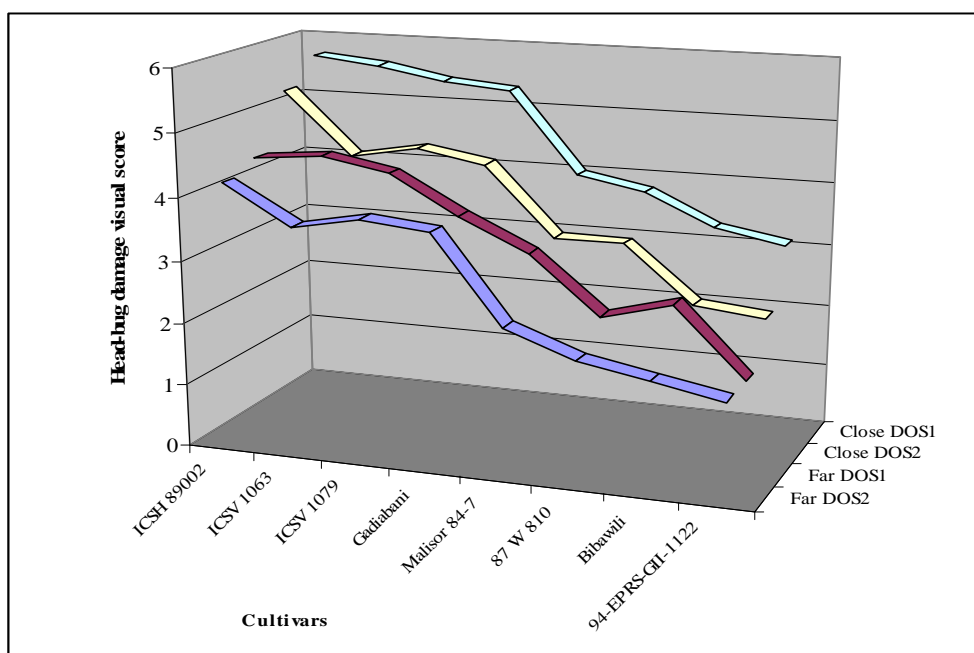


Fig. 28 : Effet de la proximité avec le ricin, de la date de semis et de la variété sur les dégâts au sorgho des punaises des panicules (région de Kolokani, Mali, 1998)

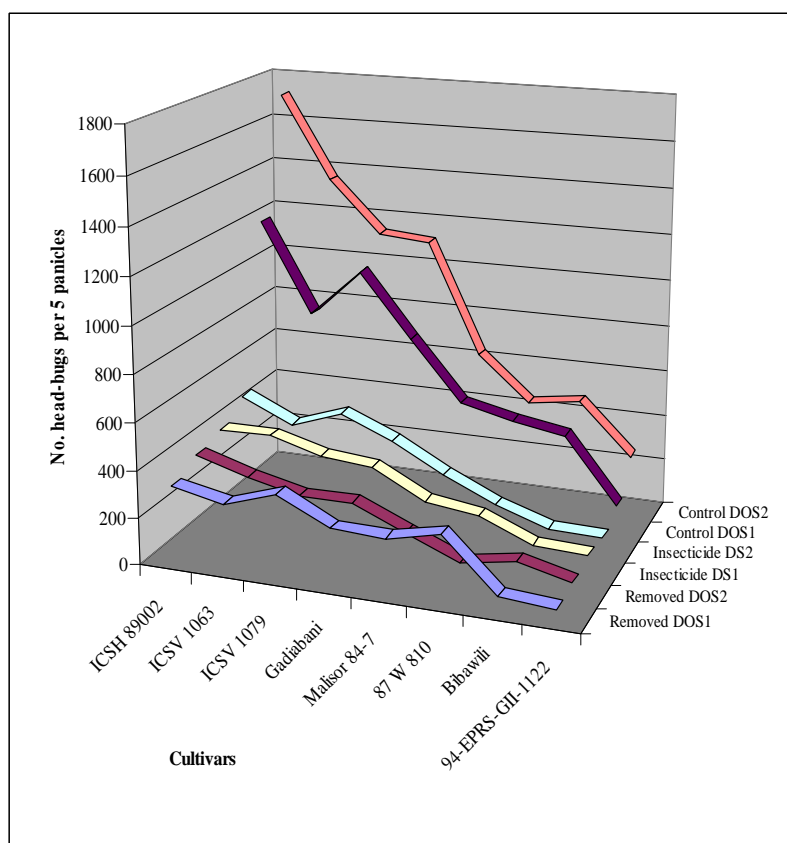


Fig. 29. Effet du traitement du ricin, de la date de semis et de la variété sur l'infestation du sorgho par les punaises des panicules (région de Kolokani, Mali, 1999)

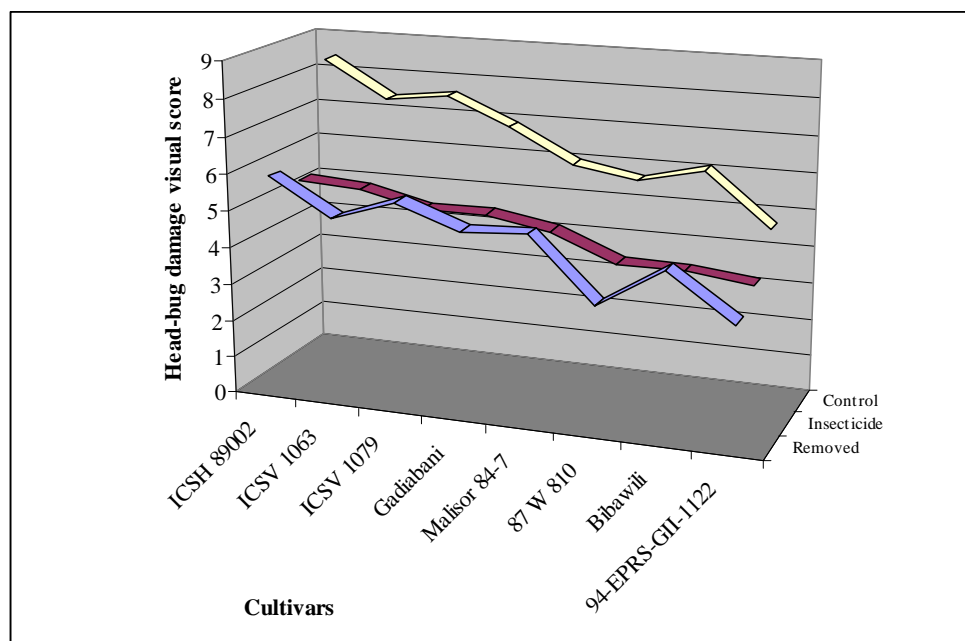


Fig. 30. Effet du traitement du ricin et de la variété sur les dégâts au sorgho des des punaises des panicules (région de Kolokani, Mali, 1999)

2.4.2 Effet des pratiques culturales sur les dégâts des foreurs de tiges du sorgho *Muskuwaari*

Des essais ont été menés en 2003-2004 et 2004-2005 en divers sites de la région de Maroua, en vue d'identifier les différents facteurs et leurs interactions, déterminant l'importance des dégâts de foreurs sur sorgho *Muskuwaari* [1.14.6.10].

Les deux années, les observations ont été effectuées sur 26 couples de parcelles paysannes, choisies en 2003-2004 sur la base de la date de repiquage (précoce : 22 Sep-13 Oct ; et tardif : 22 Oct-15 Nov), et en 2004-2005 sur la base de la distance aux champs de sorgho pluvial (proche ou éloigné).

En 2003-2004, le taux d'infestation par *Sesamia* spp. n'a pas varié en fonction de la date de repiquage, avec une moyenne de 54%.

En 2004-2005, sur les 26 parcelles suivies, seules 22 ont été récoltées, dont 10 proches des parcelles pluviales, et 12 éloignées. En considérant seulement le résultats des couples où la même variété avait été cultivée dans chacune des 2 parcelles, soit seulement 7 couples en tout (dont 5 avec la variété *safraari*), les différences entre les 2 types de parcelles ont été significatives à la fois pour le pourcentage d'attaque globale ($P=0,033$) et celui d'attaque précoce ($P=0,035$), alors qu'elles ne l'étaient pas pour le pourcentage d'attaque tardive et le rendement en grain (Tableau 11).

Tableau 11 : Pourcentage de tiges attaquées et perte de rendement en grain sur sorgho *Muskuwaari* selon la distance aux champs de sorgho pluvial (2004-2005: toutes variétés)

Distance aux champs de sorgho pluvial	% attaque précoce	% attaque tardive	% attaque globale	Pertes de rendement en grain (kg/ha)
Proche	22±18 a	19±26 a	42±22 a	313±152 a
Eloigné	9±7 b	24±10 a	32±13 b	275±184 a

Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% au test t (6 ddl)

Sur *safraari*, ces différences n'étaient significatives que pour le pourcentage d'attaque précoce ($P=0,042$) (Tableau 12).

Tableau 12 : Pourcentage de tiges attaquées et perte de rendement en grain sur sorgho *Muskuwaari* selon la distance aux champs de sorgho pluvial (2004-2005: variété *safraari*)

Distance aux champs de sorgho pluvial	% attaque précoce	% attaque tardive	% attaque globale	Pertes de rendement en grain (kg/ha)
Proche	23±17 a	26±30 a	48±21 a	345±135 a
Eloigné	11±7 b	28±9 a	37±11 a	232±191 a

Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% au test t (4 ddl)

2.4.3 Caractérisation des interactions insectes ravageurs/systèmes de culture à base de riz pluvial à Madagascar

2.4.3.1 Etude de l'impact d'un système de culture avec semis direct sur couverture végétale (SCV) à base de riz pluvial sur l'infestation et les dégâts d'insectes terricoles

Des études visant à élucider les facteurs potentiellement responsables de la réduction de l'infestation et des dégâts de vers blancs/scarabées noirs dans un système SCV à base de riz pluvial, particulièrement via l'entomofaune auxiliaire, ont été menées en 2002-2003 à Andranomanelatra et Ibity (Hautes-Terres du Vakinankaratra, altitude d'environ 1500 m) [1.14.7.41].

Les dispositifs étaient des split-plot/factoriels à quatre répétitions, avec deux modes de gestion du sol (labour vs. SCV), six variétés de riz, et deux niveaux de protection des semences [témoin non traité et traitement au GAUCHO® T 45 WS (35% imidaclopride + 10% thirame) à 5 g/kg de semences]. Le riz venait en succession de soja associé à de la crotalaire, association succédant elle-même à du riz cultivé sur résidus de maïs et soja.

Les estimations de populations de la macrofaune épigée (par captures aux pièges Barber) et endogée (selon la méthode TSBF) ont mis en évidence une plus grande biodiversité en SCV qu'en labour, particulièrement en termes de taxons « non-ravageurs ».

En décembre 2002, on a relevé en moyenne à Ibity 2 adultes par parcelle SCV du Dynastinae saprophage *Hexodon unicolor unicolor*, contre 0 en labour. La Cicindèle prédatrice *Hipparidium equestre*, avec en moyenne plus d'une capture par parcelle, était également 2 fois plus abondante en SCV qu'en labour. A Andranomanelatra, on relevait plus de 18 adultes d'*H. unicolor* par parcelle SCV, contre 4 en labour. Concernant les vers blancs, il n'y avait

pas de différence significative entre les deux modes de gestions du sol, alors que les vers de terre étaient significativement plus abondants en SCV qu'en labour : en janvier 2003 à Ibity, leur densité était de 300/m² en SCV, contre moins de 25 en labour.

En matière de dégâts au riz (notes sur une échelle de 1 à 5 par ordre croissant de gravité), on n'a observé de différence variétale sur aucun des sites, ni d'effet de la gestion du sol à Andranomanelatra. Ce dernier effet était significatif à Ibity (note de 2,0 sur labour contre 1,4 en SCV). En SCV, il n'y avait pas de différence dans la note de dégâts entre parcelles protégées par traitement de semences et parcelles témoin, alors qu'en labour, le traitement de semences se traduisait par une réduction des dégâts.

Sur les deux sites, on a observé des différences significatives entre modes de gestion du sol et niveau de protection des semences, en faveur du SCV et du traitement insecticide (Tableau 13).

Tableau 13. Rendement en grain de riz paddy (t/ha) selon le traitement de semences et la gestion du sol

Gestion du sol ¹ /Traitement de semences ²	SCV/ Traitement de semences	SCV/ Témoin	Labour/ Traitement de semences	Labour/ Témoin
Site				
Andranomanelatra	3,2	2,6	2,8	1,7
Ibity	3,7	2,4	2,3	1,7

1. SCV sur couverture morte de résidus de soja/*Crotalaria* vs. résidus incorporés par labour
2. GAUCHO® à 5 g/kg de semences vs. témoin non traité

Ces résultats indiquent qu'après quatre années de gestion SCV sous forte pression d'insectes terrioles ravageurs, le rendement en riz, en l'absence de traitement de semences, est équivalent à celui obtenu en labour avec traitement.

Ils mettent en évidence l'effet bénéfique des SCV sur le développement des plantes, probablement via leur effet sur la faune auxiliaire. Toutefois, les mécanismes impliqués dans la réduction des impacts néfastes des ravageurs en SCV étant multiples, il est nécessaire d'explorer plus avant les parts respectives des effets indirects via les ennemis naturels, la meilleure nutrition de la plante, et les effets directs comme ceux de barrière mécanique, etc., qui peuvent varier en fonction du système de culture et du ravageur.

2.4.3.2 Etude du statut des larves de Dynastides en fonction du statut organique du sol : ravageurs du riz pluvial ou ingénieurs de l'écosystème ?

Une étude a été menée au laboratoire à Antsirabe, Hautes-Terres de Madagascar, avec pour objectif de déterminer le véritable statut des larves de Coléoptères Scarabaeidae Dynastinae telluriques (genres *Hexodon*, *Heteroconus* et *Heteronychus*), et sa variation potentielle en fonction de la gestion de l'agroécosystème [1.14.7.43].

La relation aux racines de riz des larves a été observée en microcosmes, consistant en des parallélépipèdes de 1,875 l (=vivariums) remplis de sols ferrallitiques (horizon 1-15 cm) de parcelles menées en labour depuis 7 ans sur les stations de l'ONG Tafa à Andranomanelatra et Ibity.

Il y avait trois traitements par type de sol : sol seul ; sol additionné de 100 g de tiges de riz broyées et séchées /kg de sol ; sol additionné de 100 g de fumier de parc séché /kg de sol. Des analyses de carbone et azote organiques ont été effectuées sur tous ces milieux, qui ont été stérilisés à l'étuve à 60°C pendant 72h préalablement aux essais.

Les vivariums ont été divisés en leur partie médiane en deux compartiments, et deux plants de riz ont été repiqués à chaque extrémité du vivarium (à l'opposé de la paroi centrale) et arrosés quotidiennement. Une semaine après repiquage, une larve de ver blanc en fin de stade L2 ou au stade L3, a été placée dans chaque compartiment sous la surface du sol, au contact de la paroi centrale (à l'opposé des plants de riz). Sa position (association avec le sol sans racines ou les racines du riz) et éventuellement les dégâts au riz, ont été notés une semaine après.

Il y a eu quatre répétitions de six compartiments pour *Hexodon unicolor unicolor* et *Heteroconus paradoxus*, et trois répétitions pour chacune des trois espèces d'*Heteronychus* (*H. plebejus*, *H. bituberculatus* et *H. arator rugifrons*). Les larves d'*H. unicolor unicolor* ont été récoltées en Mars 2006 à Andranomanelatra, celles des quatre autres espèces en Mai-Juin 2006 en diverses localités autour d'Antsirabe.

Hexodon unicolor unicolor s'est révélé être saprophage obligatoire au stade larvaire, ne s'attaquant jamais aux racines du riz.

Les quatre autres espèces de Dynastinae étudiées se sont révélées être rhizophages facultatives, ne s'attaquant que rarement aux racines du riz en sols enrichis en matière organique à rapport C/N élevé (par addition de résidus de riz), mais évoluant plus volontiers

de la saprophagie à la rhizophagie en sols pauvres en matière organique, ou enrichis en matière organique à rapport C/N faible (par addition de fumier) (Figs 31 à 34).

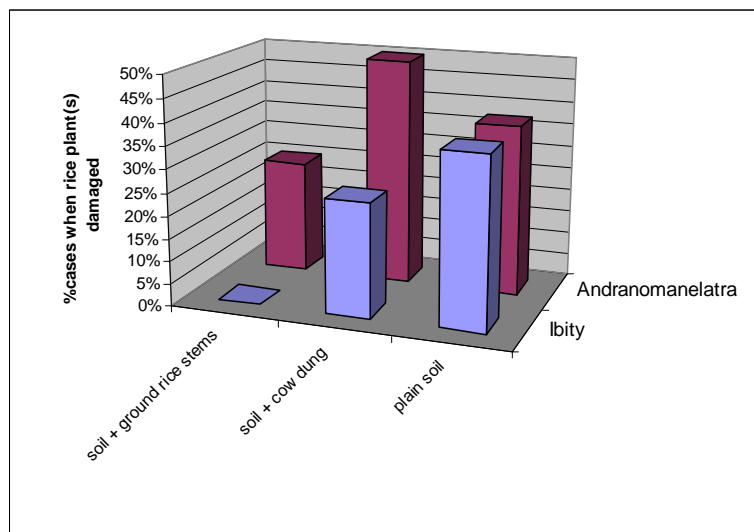


Fig. 31. Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteroconus paradoxus* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique

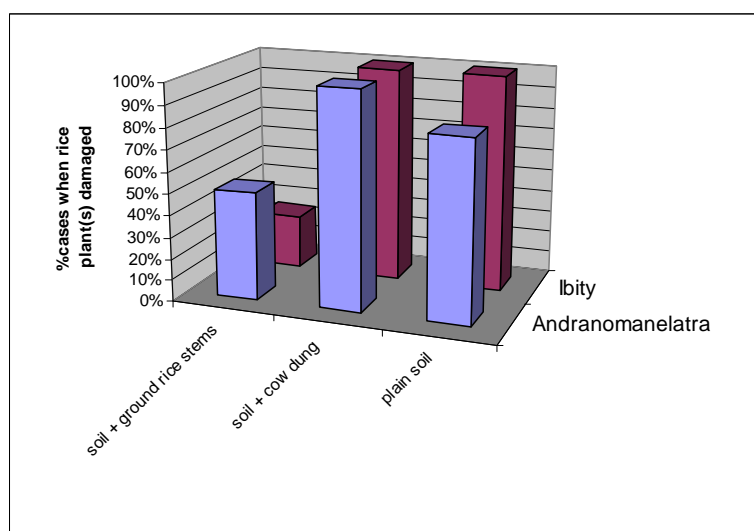


Fig. 32. Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus arator rugifrons* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique

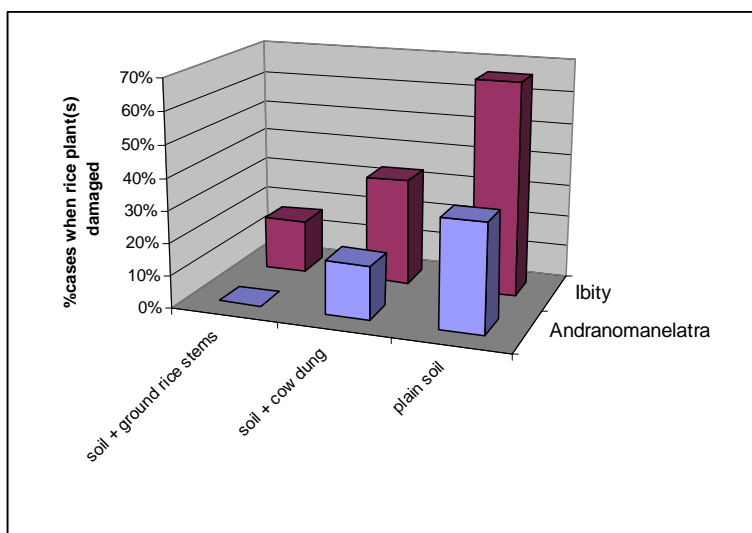


Fig. 33. Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus plebejus* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique

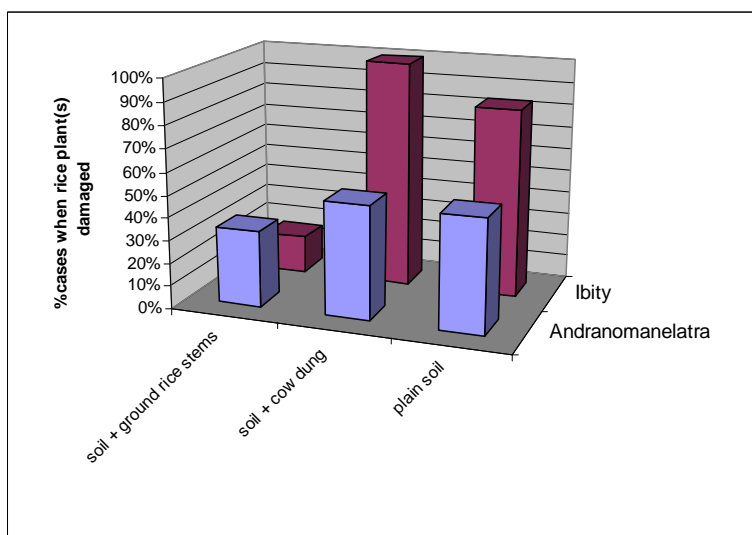


Fig. 34. Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus bituberculatus* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique

Ces résultats confirment que c'est à tort que les larves d'*H. unicolor unicolor* sont considérées comme des ravageurs par les agriculteurs, alors qu'elles devraient être considérées comme utiles de par leur fonction d'ingénieurs de l'écosystème.

Jusqu'à présent, l'effet supprimeur des dégâts de vers blancs en SCV avait surtout été attribué à un effet indirect via la biodiversité faunistique (changement des équilibres en faveur des espèces saprophages ou prédatrices), ou via des mécanismes de tolérance, compensation ou résistance induite de la plante par une nutrition plus équilibrée (trophobiose). Or, le changement de statut des vers blancs (i.e leur passage de la fonction d'organismes nuisibles à celle d'organismes utiles) selon le statut organique du sol, ouvre de nouvelles perspectives de gestion des systèmes rizicoles pluviaux.

2.5 Chapitre 5. Discussion et perspectives de recherche

2.5.1 Les limites des travaux présentés

2.5.1.1 Le choix de variables objectives

Les études présentées ont permis de mieux caractériser les relations plante-insecte du point de vue de l'estimation des dégâts occasionnés, à l'instar de celles menées dans le cadre de la thèse de doctorat. A ce titre, elles ont contribué au développement de méthodologies objectives.

Même si l'échelle de notation visuelle développée pour les punaises paniculaires du sorgho a fait la preuve de son efficacité pratique, car rendant compte d'un dégât total cumulé (contrairement aux échantillonnages d'insectes, plus aléatoires), la recherche d'autres critères objectifs de mesure des dégâts de punaises doit se poursuivre.

En effet, si la notation visuelle reste indispensable pour rendre compte des plus forts niveaux de dégâts (pour lesquels il n'y a plus à proprement parler de grains à battre), elle reste une appréciation des dégâts extérieurs, à la fois sur les grains et sur la panicule, et doit donc quand c'est possible être complétée par des mesures sur les grains après battage, afin que les attaques larvaires à proximité du rachis, et la perte de pouvoir germinatif par destruction du germe caché, puissent être aussi prises en comptes.

Nos études ont montré l'importance qu'il y aurait à séparer les symptômes d'attaques précoces de ceux d'attaques tardives, autant que ceux liés aux types de piqûres. Par exemple, de nombreuses piqûres d'alimentation d'adultes sur grains laiteux peuvent rendre ceux-ci impropres à l'oviposition, ce qui se traduira de façon un peu paradoxale en de faibles populations sous infestation artificielle malgré une note visuelle très élevée. Un moyen de pallier ce biais, et de mieux apprécier la contribution respective des deux types de dégâts, serait d'évaluer séparément les dégâts occasionnés par l'alimentation des adultes (en utilisant seulement des mâles) et ceux causés par l'oviposition des femelles (en confinant seulement des femelles gravides avec les panicules de sorgho, pendant un temps très court).

2.5.1.2 L'analyse des variables choisies

Arbonnier (1966) a alerté sur les dangers à utiliser l'analyse de variance conventionnelle pour une variable discrète comme celle issue d'une notation visuelle de l'attaque, à plus forte

raison quand le dégât n'est pas lié linéairement aux symptômes. En effet, si la note visuelle d'attaque par la cécidomyie, fondée sur un pourcentage d'avortement, suit vraisemblablement une loi binomiale, en revanche celle d'attaque par les punaises, qui fait appel à plusieurs symptômes (bien que concernant un seul type d'organe), suit vraisemblablement une loi multinomiale. La méthode d'analyse de données statistiques dérivant de la théorie de l'information, telle que décrite par Arbonnier (1966), aurait donc été plus adaptée.

2.5.1.3 La prise en compte des usages dans le choix des variables

Nos études sur les ravageurs des stocks avaient permis de définir des paramètres biologiques objectifs [1.14.7.3], mais il avait été mis en exergue que ceux-ci devaient obligatoirement être reliés aux pratiques paysannes pour une évaluation technico-économique des options de gestion [1.14.5.3 ; 1.14.7.8 ; 1.14.4.4].

L'importance de prendre en compte certains facteurs humains incontournables ne se limite pas au cas des ravageurs des stocks. La pratique par les paysans d'immersion dans l'eau des grains avant pilage et d'élimination de tous les surnageants, affecte aussi les grains piqués par les punaises (dans ce cas, la perte réelle serait certainement mieux approchée par le pourcentage de grains à faible densité, à l'instar du pourcentage de grains attaqués pour les insectes des stocks).

Concernant les exigences des consommateurs, la sélection de Guinea Tan pourrait être la solution à l'inconvénient de changement de couleur du *tô*, dû aux anthocyanes sur les grains de Guinea piqués par les punaises (Touré & Kapran, 2001 ; Ouattara et al., 2001). Malheureusement, le caractère Tan chez les Guinea est aussi souvent associé à une sensibilité aux maladies foliaires et une faible vigueur à la levée (cette dernière pouvant être due à la difficulté à distinguer les grains piqués par les punaises pour les écarter comme semences) (Chantereau, com. pers., 2006).

Ce changement de couleur n'est toutefois important que par rapport à un usage. De même, la diminution de la vitrosité des grains consécutive aux attaques de punaises, et la baisse du rendement au décorticage qui en résulte, ne se traduit en perte quantitative qu'en cas de pilage pour la préparation du *tô*, alors qu'elle n'affecte pas la préparation de couscous (préférée par les populations du Nord et de l'Ouest du Mali).

L'aspect « usage » se retrouve aussi pour l'effet de la couleur du sorgho sur celui des punaises [1.14.6.6]. En effet, la culture de sorghos rouges précoces résistants aux moisissures n'a

d'intérêt que pour la brasserie (traditionnelle), ces variétés n'étant guère appréciées pour les autres préparations alimentaires.

Il en est de même dans le cas des foreurs du *Muskuwaari*. Même si le plus fort tallage des plantes dont les tiges principales sont détruites par les foreurs, peut entraîner l'apparition de panicules secondaires et donc se traduire au final (quand les conditions de ressources hydriques et minérales sont favorables) par un plus fort rendement, à la fois en fourrage et en grain, cela ne se fait pas forcément au bénéfice du producteur, en effet :

- (i) la maturité de ces panicules compensatoires est différée par rapport à la récolte principale, ce qui fait qu'elles ne sont généralement pas récoltées/utilisées pour la nutrition humaine ;
- (ii) si la quantité de fourrage est supérieure, sa qualité est moindre, les tiges attaquées étant moins appréciées par le bétail [1.14.6.10].

2.5.1.4 Une analyse très partielle des interactions trophiques

Nos travaux se sont par ailleurs concentrés sur les seules interactions entre végétaux et phytophages, celles concernant le 3^{ème} niveau trophique (carnivores= prédateurs) étant purement descriptives. A ce titre, nos travaux sur la caractérisation des dégâts relèvent d'effets « top-down » (du haut vers le bas), puisqu'ils concernent l'effet de l'insecte phytophage sur la plante (producteur primaire, i.e appartenant au 1^{er} niveau trophique).

Eurystylus oldi parmi les punaises des panicules de sorgho, tout comme les Lépidoptères foreurs des tiges de graminées, et même les Scarabaeidae terricoles, peuvent être qualifiés d'« oligophages » plutôt que de polyphages, même si à cet égard on prend quelque liberté par rapport à la définition de la polyphagie donnée par Jolivet (1992 & 1998, in Nicole, 2002), à savoir la capacité des insectes à s'alimenter sur une grande variété d'ordres de plantes et parfois même de plusieurs classes. En effet, bien que ceux-ci appartiennent à des familles variées (Graminées, Fabaceae, Euphorbiaceae), les hôtes alternatifs avérés d'*E. oldi* sont peu nombreux. A de rares exceptions près (Schulthess & Setamou, 1999), les foreurs des tiges de céréales se limitent à quelques hôtes appartenant aux familles des Graminées, Cyperacées et Typhacées. Enfin, les espèces de vers blancs, prises individuellement, présentent des préférences alimentaires marquées, notamment en prairie (les Dynastinae pour les graminées, les Melolonthinae pour les légumineuses) (King et al., 1981 ; Sutherland & Greenfield, 1977). De plus, les larves de vers blancs peuvent être considérées comme des monophages facultatifs vu leur faible mobilité après l'oviposition.

Pour Bernays et Minkenberg (1997), la tendance à la vraie polyphagie est moins marquée chez les Lépidoptères et les Hémiptères que chez les Orthoptères. La plupart des acridiens sont en effet dit euryphages, seuls certains ayant un spectre alimentaire plus étroit étant qualifiés de sténophages.

En tout état de cause, les espèces étudiées ne se situent pas au même niveau de polyphagie que des espèces comme *Aphis gossypii* et *Bemisia tabaci*, pour lesquelles respectivement plus de 1000 et plus de 500 plantes hôtes sont connues (Deguine & Ferron, 2005).

C'est pourquoi la diversification végétale est susceptible de réduire l'incidence de ces ravageurs dans les agroécosystèmes. En effet, Andow (1991, in Rämert et al., 2002) indique que les phytophages monophages sont plus à même de voir leurs populations augmenter dans des systèmes diversifiés que les ravageurs polyphages. De l'analyse de 209 études impliquant 287 espèces de ravageurs, il est ressorti que des 149 espèces dont les populations étaient plus faibles en cultures associées qu'en monocultures, 60% étaient monophages et 28% polyphages.

Des stratégies de manipulation de l'habitat à l'intérieur de la culture comme les couvertures vivantes (composantes du 1^{er} niveau trophique, tout comme la culture) peuvent aussi agir directement sur les ravageurs, assurant un contrôle de type « bottom-up » (ascendant). Root (1973) a qualifié la suppression des ravageurs résultant de tels effets ne faisant pas appel aux ennemis naturels, comme l'« hypothèse de concentration des ressources », reflétant le fait que la ressource (la culture) est effectivement « diluée » par des signaux d'autres espèces végétales.

Par ailleurs, un nombre croissant d'études sont consacrées aux effets relatifs des forces ascendantes et du haut vers le bas (effet des prédateurs dans ce cas) sur les populations phytophages (Coll & Bottrell, 1994, in Shrewsbury & Raupp, 2006 ; Andow, 1990, in Shrewsbury & Raupp, 2006). Ces forces ne sont pas mutuellement exclusives et interagissent de façon complexe, y compris dans le temps (Stiling & Rossi, 1997 ; Gratton & Denno, 2003).

2.5.1.5 La définition du « statut » des insectes dans les agroécosystèmes

Dans les écosystèmes stockés, on qualifie de primaires les ravageurs qui sont capables d'attaquer un grain de céréale intact. Les ravageurs secondaires sont ceux qui leur succèdent (en termes d'escouade) dans la mesure où ils ne peuvent s'attaquer qu'à des grains déjà endommagés. Cela n'empêche pas ces derniers de pouvoir être des ravageurs majeurs, et

même de proliférer en l'absence de dégâts de ravageurs primaires : cas des *Tribolium* spp. sur les farines ou même des grains en partie cassés ou fissurés suite aux opérations post-récolte. La faune tertiaire est composée des auxiliaires (donc le niveau trophique supérieur).

Dans les agroécosystèmes, on qualifie de primaires les ravageurs majeurs, et de secondaires ceux de moindre importance. A la faveur d'applications d'insecticides mal raisonnées, ces ravageurs secondaires peuvent voir leur statut changer et devenir des ravageurs majeurs (s'ils sont moins affectés par les traitements insecticides que les ravageurs primaires, ou si c'est surtout leur cortège d'auxiliaires qui en est le plus affecté).

Le statut de ravageur primaire ou secondaire selon ces définitions a des implications en termes de gestion. Ainsi, des insectes phytophages responsables d'attaques précoces pouvant être tolérées par la plante, voire donner lieu à des compensations, ou d'attaques trop tardives à des organes non récoltés, pour avoir une incidence sur la production des grains (sauf indirectement : casse des panicules), ne devraient alors pas être considérés comme ravageurs (ne serait-ce que pour ne pas faire l'objet d'interventions de type traitement chimique, susceptibles d'affecter la faune utile et d'entraîner l'apparition de résistances chez les ravageurs : Rosenheim et al., 1997).

Au-delà des notions de monophagie et polyphagie évoquées plus haut, l'ambiguïté du statut de certaines punaises mirides est quant à lui liée à leur omnivorie. C'est notamment le cas de *Lygus hesperus* sur coton en Californie, dont le rôle de ravageur l'emporte toutefois largement sur celui de prédateur (Rosenheim et al. 2004). Le problème ne se pose pas avec *E. oldi*, pour lequel on n'a jamais observé de comportement de prédateur.

La résistance variétale de la plante cultivée peut être suffisante pour gérer les ravageurs monophages (comme la cécidomyie du sorgho), alors que la gestion des oligophages requiert en général des mécanismes impliquant les autres végétaux de l'agroécosystème (par des effets ascendants directs, ou *via* les auxiliaires). Toutefois, avec les oligophages et les polyphages, la diversification végétale peut aussi aggraver la situation, si elle offre aux ravageurs des plantes alternatives pour se multiplier en l'absence de la culture principale (Schulthess & Setamou, 1999).

Les perspectives portant sur le changement, par gestion agronomique, du statut des ravageurs, telles que mises en évidence dans le cas des vers blancs du riz pluvial et dans une moindre mesure dans celui des foreurs des tiges du sorgho *Muskuwaari*, sont encourageantes.

Il convient toutefois de distinguer le cas de phytophages obligatoires (foreurs des tiges), de celui des vers blancs, pour lequel ce changement de statut s'accompagne d'un changement de régime alimentaire (de ravageur à détritivore), voire de niveau trophique (par exemple, des résidus végétaux en cours de décomposition par des champignons sont à un niveau intermédiaire entre le 1^{er} et le 2^{ème} niveau trophique).

Si ce dernier type de changement ne peut paraître que souhaitable pour son effet positif global du point de vue du producteur et de l'agroécosystème, il ne faut toutefois pas occulter le risque potentiel d'avoir à gérer des « puits » de ravageurs susceptibles de redevenir des « sources » en fonction de l'évolution des conditions trophiques et environnementales.

2.5.1.6 Les échelles d'étude et d'action

Outre les réserves émises ci-dessus quant au bénéfice réel de certaines manifestations de tolérance, certains auteurs ont remis en cause ce mécanisme de résistance, arguant qu'il contribuait à augmenter les populations de ravageurs dans l'écosystème. Ainsi, pour les foreurs des tiges, un « indice de production de papillons » (Moth Production Index) a été défini à la fois comme critère de résistance de la plante aux ravageurs, mais aussi comme mesure de son aptitude à supprimer ou au contraire augmenter les populations de l'insecte au niveau de l'écosystème, donc de son effet à plus grande échelle et plus long terme (Bessin et al., 1990).

Le « procès » fait aux défenseurs de la tolérance est un peu le même que celui qui est fait aux promoteurs des techniques SCV, qu'on accuse d'encourager « le travail dans la saleté et la prolifération de la vermine ». Le problème se poserait donc à l'échelle spatiale supérieure (terroir par rapport à la parcelle).

Pourtant, les populations de ravageurs ainsi maintenues et même augmentées par la culture de variétés tolérantes, n'ont pas subi de pression de sélection de la part de la plante-hôte et peuvent même servir (à l'instar de celles qui sont maintenues dans les aires-refuges, en zones de culture d'OGM), à diluer les résistances à certaines formes d'antibiose, même conventionnelles.

De plus, la tolérance, définie comme le maintien de populations élevées de ravageurs avec des dégâts acceptables, est parfaitement compatible avec la lutte biologique par conservation (maintien de populations d'auxiliaires). Elle est donc à ce titre écologiquement avantageuse parce que les populations d'ennemis naturels (notamment de prédateurs généralistes) ainsi

maintenues complètent la résistance au ravageur principal, tout en réduisant l'incidence des ravageurs secondaires.

Au-delà d'un déplacement ou d'une amplification du problème pour les voisins, tolérance et couvertures végétales pourraient même conduire à une adoption généralisée de la variété ou du système de culture préconisé, s'il y a augmentation de la pression chez les non-adoptants. *A contrario*, des modalités particulières de diffusion peuvent aussi être envisagées (en regroupant géographiquement les adoptants) afin de progresser « en blocs » et éviter ainsi les conflits de voisinage.

Les problèmes d'échelle temporelle se superposent à ceux d'échelle spatiale. En plus de la nécessité de se concerter entre acteurs pour raisonner collectivement, raisonner à l'échelle de l'agroécosystème au lieu de la parcelle, il faut aussi raisonner sur plusieurs années au lieu du cycle de culture, certains équilibres mettant du temps à s'établir (Ferron & Deguine, 2005 ; 1.14.3.2).

A cet égard, la sélection variétale en conditions de choix unique telle qu'elle a été privilégiée pour la résistance aux punaises des panicules sur sorgho, est un moyen de privilégier les résistances par antibiose par rapport à la non-préférence qui est moins durable. *A contrario*, elle prive les utilisateurs de ce second type de résistance qui pourrait avoir son utilité de façon transitoire, le temps de développer par sélection des variétés résistantes par antibiose.

Plus que de la tolérance, le changement de statut des ravageurs peut être considéré comme une forme de sur-compensation au niveau de l'agroécosystème : la production est en effet accrue du fait des actions bénéfiques indirectes de ces insectes.

L'on peut ainsi sur ces bases envisager la mise au point de systèmes de culture durables, résistants aux ravageurs (à l'instar de variétés à résistance durable). D'ailleurs, la stratégie « push-pull » ou « stimulo-dissuasive » (Miller and Cowles, 1990) développée au Kenya par l'ICRISAT et ses partenaires sur les foreurs du maïs, peut être considérée comme une application des principes de la résistance (antixénose & antibiose) au niveau de l'écosystème (Khan et al., 2003 ; Khan et al., 2004 ; Khan et al. 2006).

Il en est de même des systèmes SCV, dont certains peuvent mettre en œuvre les principes de la stimulo-dissuasion (couvertures « leurres », plantes-pièges), mais aussi de la résistance induite et du changement de statut des ravageurs, relevant ainsi, au-delà de la protection intégrée, de la production intégrée [1.14.3.2 & 1.14.7.42].

Enfin, on peut comme Takahashi (2000) parler d'immunité de l'écosystème cultivé si par le biais d'une augmentation de la biodiversité végétale cultivée, on parvient à maintenir voire augmenter les populations significatives de prédateurs polyphages antagonistes des ravageurs.

Tableau 14. Extension à l'agroécosystème des principes de la résistance variétale

Niveau Plante	Niveau Agroécosystème
Antixénose	Composante « push » du push-pull Trophobiose
Antibiose	Composante « pull » du push-pull, avec les « vraies » plantes-pièges
Tolérance	Amélioration de la nutrition minérale et hydrique de la plante Changement de statut des ravageurs
Compensation	Amélioration de la nutrition minérale et hydrique de la plante
Immunité	Maintien de populations significatives de prédateurs polyphages

2.5.1.7 Minimisation des impacts néfastes des pesticides sur la santé des hommes et des écosystèmes

Le système SCV est parfois considéré comme heurtant les principes de la protection intégrée des cultures, dans la mesure où le recours aux pesticides peut être justifié. En effet, s'il vise à limiter l'utilisation de pesticides de synthèse, et en tout cas à en éliminer les résidus toxiques autant dans le produit final que dans l'environnement, ce système n'est pas strictement « organique ». Il combine des intrants et des pratiques dont l'objectif est de mobiliser les processus biologiques dans l'intérêt des agriculteurs [1.14.3.2]. Il est donc important de maintenir l'utilisation de ces pesticides à un bas niveau et d'utiliser des molécules sélectives pour minimiser l'inhibition des processus biologiques. Toutefois, comme un certain temps est toujours requis pour que de nouveaux équilibres (favorables à la plante cultivée) s'établissent, lors du passage d'un système labouré à un système SCV, l'utilisation ciblée de molécules chimiques (insecticides, herbicides, mais aussi engrais), au moins pour leur effet « starter » peut être compatible avec les SCV, et même nécessaire, ne serait-ce que pour produire la biomasse nécessaire à la mise en œuvre de ses principes. Cela est conforme à l'approche flexible du CIRAD par rapport à la protection des cultures [1.14.3.1].

C'est donc dans une optique de durabilité, autant socio-économique qu'environnementale, que l'on cherche à minimiser les résidus toxiques, dans le produit et dans l'environnement, tout d'abord par des pratiques alternatives à la lutte chimique, mais aussi le cas échéant par des applications phytosanitaires très ciblées dans l'espace et dans le temps, si possible épargnant les organes consommés (grains), et faisant appel à des produits disponibles localement et biodégradables.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent les travaux que nous avons menés, parallèlement à ceux présentés dans ce document, sur la bioécologie des foreurs des tiges de sorgho, particulièrement *Busseola fusca*. Ainsi, si le piégeage phéromonal [1.14.4.3 & 1.14.6.8] ne permet guère de faire de quantitatif, il peut servir à établir la corrélation avec les paramètres climatiques comme base d'avertissement. Il en est de même pour les études sur la rupture de la diapause [1.14.7.22 & 1.14.4.5].

Plusieurs études ont mis en évidence le potentiels d'insecticides dérivés de plantes pour limiter les dégâts de plusieurs types de ravageurs : cendres sur insectes des stocks [1.14.4.4.] ; Pourghère sur punaises des panicules [1.14.7.16] et sur foreurs de tiges [1.14.5.5] ; Neem sur *Sesamia* [1.14.7.38].

Concernant les insecticides de synthèse, certaines interventions phytosanitaires ciblées (dans le temps et dans l'espace), bien qu'*a priori* aux antipodes du « dogme » de l'IPM, car systématiques, s'inscrivent dans cette stratégie de minimisation d'impact : traitements insecticides sur ricin [1.14.6.7] ; fongicides sur sorgho [1.14.4.7], traitement avec produits systémiques des plants de sorgho repiqué [1.14.7.38] et des semences de riz pluvial [1.14.7.40].

2.5.2 Perspectives de recherche

Celles-ci donneront lieu à des sujets de M2 et de thèses.

2.5.2.1 Etude de l'hérédité du durcissement rapide des grains de sorgho

Le facteur de résistance aux punaises rencontré dans la variété Malisor 84-7 et ses descendances est attribué à un durcissement plus rapide du grain en maturation que dans les variétés sensibles. Toutefois, les mesures de pénétrométrie effectuées en 1991 et 1992 n'ont pas permis de confirmer définitivement cette hypothèse, car ne portant que sur trois variétés [1.14.7.15]. Quinze ans plus tard, on dispose d'un matériel plus adapté pour reprendre une étude de ce type, à savoir notamment plusieurs descendances fixées de croisements entre Malisor 84-7 et diverses variétés sensibles, descendances présentant elles-mêmes des niveaux de résistance variés et connus. L'une d'elle, CIRAD 441, se caractérise aussi par un durcissement du grain très rapide (données non publiées). On a par ailleurs étudié par les outils de la génétique quantitative l'hérédité de la résistance [1.14.4.6], et certains QTL de résistance ont été placés sur une carte génétique [1.14.5.8].

L'étude proposée consistera, en première année, à une évaluation de ces descendances (87W810, 91W113-2-1, 91W117-1-1, CIRAD 441, CCAL 1/3-1-1-2 & CCAL 3/1-1-1-1), avec leurs parents (Malisor 84-7, ICSV 1002, ICSV 1014, ICSV 197 & ICSV 1079), par rapport au paramètre « durcissement du grain en cours de maturation ».

A la floraison, on effectuera des croisements en vue de l'étude en année 2, sur ce paramètre, d'un diallèle complet à partir des F2 de croisements de quatre parents : Malisor 84-7, CIRAD 441, S34 et ICSV 197.

Les parcelles des parents pour effectuer les croisements, puis des F2, seront conduites à Montpellier, au CIRAD (Domaine de Lavalette).

Les mesures de dureté des grains de sorgho en maturation seront effectuées au CIRAD-Montpellier, à la Maison de la Technologie, UPR CIRAD « Qualité des aliments tropicaux » (G. Fliedel).

Une cartographie de QTLs sera également réalisée pour ce caractère sur les descendances F2 des deux croisements Malisor 84-7 X S34 et Malisor 84-7 X ICSV 197, au CIRAD-Montpellier, UMR « Polymorphismes d'intérêt agronomique ».

Les résultats seront confrontés à ceux des études sur l'hérédité et sur la recherche de QTLs de résistance aux punaises [1.14.4.6 & 1.14.5.8].

Si les moyens le permettent et des cadres de collaboration sont identifiés et formalisés, par exemple avec l'IPR/IFRA de Katibougou une partie du travail sera réalisée au Mali.

A défaut (en l'absence de pénétromètres plus adaptés à des études de terrain : Constant et al., 1996) de pouvoir évaluer conjointement et simultanément la réaction aux punaises et le durcissement du grain (notamment du fait des interactions G X E), on pourra suivre au Mali, en même temps que les attaques de punaises, et sur les mêmes variétés qu'à Montpellier (Malisor 84-7 et ses descendances fixées), des paramètres liés au développement du grain comme l'évolution de la teneur en matière sèche.

2.5.2.2 Identification des flux populationnels de la punaise *Eurystylus oldi* entre ses différents hôtes en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe

De nouveaux hôtes alternatifs pour les punaises ont été avérés depuis les études présentées plus haut, dont *Crotalaria juncea* au Mozambique [1.14.6.4] et *Cajanus cajan* au Mali (données non publiées).

Par ailleurs, on ne sait pas pourquoi cette punaise, bien que présente sur le ricin dans toute l'Afrique sub-saharienne, n'est devenue un ravageur important du sorgho qu'en Afrique de l'Ouest, et pas dans les parties orientale et australe du continent, où cette céréale est pourtant aussi largement cultivée (Kruger, 2006).

Pour mieux cibler la gestion de ce ravageur sur sorgho en Afrique de l'Ouest, il serait intéressant d'identifier les sources d'infestation du sorgho les plus significatives. On dispose pour cela d'outils moléculaires fiables, en l'occurrence des marqueurs microsatellites pour lesquels les premières étapes de la phase la plus onéreuse que constituent la détection, le clonage et le séquençage, ont déjà été réalisées au CIRAD (données non publiées) ; restent à réaliser (au CIRAD-Montpellier, UMR « Polymorphismes d'intérêt agronomique »), l'analyse et la correction des séquences avec l'élimination du vecteur et des adaptateurs, la recherche des séquences redondantes et la définition des amorces.

Par ailleurs, on est intéressé à aborder parallèlement cette problématique avec l'outil que constituent les analyses de ratio d'isotopes stables (Ponsard & Ardit, 2000). On sollicitera le Scottish Crop Research Institute (C.M. Scrimgeour), très avancé dans le développement de

cet outil. A titre d'exemple, à l'instar des travaux sur le houblon et l'armoise comme hôtes alternatifs de la pyrale du maïs (Malausa et al., 2005 ; Bontemps et al. 2004), le ratio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pourrait être exploité pour déterminer le type photosynthétique (C3 ou C4) des hôtes alternatifs par rapport au sorgho des punaises des panicules *E. oldi* en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe.

L'utilisation des deux outils implique la caractérisation de populations de punaises qui seront prélevées sur les divers hôtes en Afrique de l'Ouest-Centrale, et en Afrique australe.

Les études sur les punaises en Afrique australe pourront donner lieu à une thèse de doctorat (PhD) à la North-West University (Potchefstroom, Afrique du Sud), s'inscrivant à la suite du Masters of Environmental Science de M. Kruger (2006).

L'étude proposée sur les flux géniques entre les différentes populations observées en un lieu donné où coexistent plusieurs hôtes, s'inspire du modèle *Caryedon serratus*/*Arachis hypogea*/Légumineuses sauvages étudié au Sénégal par A. Delobel, M. Sembène & J.F. Silvain (Sembène & Delobel, 1996 ; Sembène & Delobel, 1998 ; Sembène et al., 1998 ; Silvain & Delobel, 1998).

Ce sont en effet les analyses génétiques des populations de l'insecte qui ont démontré qu'un seul de ses quatre hôtes sauvages servait de source d'infestation de l'arachide, ce qui a résulté en la recommandation de méthodes de lutte pratiques, et ont apporté un nouvel éclairage sur la taxonomie et la phylogénie du genre *Caryedon*.

2.5.2.3 Effet de la matière organique sur le statut des principales espèces de vers blancs (Coleoptera : Scarabaeidae) associées au riz pluvial à Madagascar

La mise en évidence du changement de statut des vers blancs, à savoir leur passage, selon le statut organique du sol, de la fonction d'organismes nuisibles à celle d'organismes en première approximation indifférents à la culture, mais en pratique utiles de par leurs effets positifs au niveau de l'agroécosystème, ou réellement indifférents par ce que leur nuisibilité directe est compensée par leurs effets positifs indirects, ouvre de nouvelles perspectives de gestion des systèmes rizicoles pluviaux [1.14.7.43].

La thèse en voie d'achèvement de Richard Randriamanantsoa aura permis de déterminer, dans les sols des rizières pluviales malgaches « qui est qui ». On s'attachera dans le cadre de la nouvelle thèse proposée à préciser « qui fait quoi ».

En effet, si les vers blancs sont quasiment tous ou bien phytophages, ou bien saprophages, on ne sait pas si ces derniers se nourrissent directement sur les fibres végétales, ou les produits de digestion des micro-organismes colonisant la biomasse en décomposition, ou sur les microorganismes eux-mêmes, vu qu'ils possèdent généralement une grande variété d'enzymes digestives (Strebler, 1979).

Pour ces études, la systématique/taxonomie classique et même la caractérisation génétique des populations, montrent leurs limites, puisqu'on raisonne au niveau de populations ou d'individus dont le statut évolue en fonction des conditions environnementales.

Outre les études en microcosmes [1.14.7.43] qui se poursuivront avec différents stades de différentes espèces, et avec différents types de sols provenant de différents systèmes de culture, notamment sous SCV, des expérimentations préliminaires seront menées pour déterminer le potentiel de l'étude des ratios $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (Ponsard & Ardit, 2000) pour savoir si en fonction de l'espèce et du statut organique du sol, les larves de vers blancs se contentent de la matière organique du sol ou s'attaquent aux racines, de la culture principale ou de la plante de couverture.

Une attention particulière sera également portée à l'étude du rôle phagostimulant de la matière organique dans le sol, selon sa teneur mais aussi sa qualité (déterminée entre autre selon le rapport C/N). Une étude préliminaire a en effet suggéré un effet phagostimulant du fumier de parc, et il reste à déterminer comment il s'exerce, et notamment quel est son effet, positif (détritivorie), ou négatif (rhizophagie) selon les autres caractéristiques du sol.

Selon les moyens mobilisables localement, éventuellement par le biais de collaborations (UR SeqBio de l'IRD), on s'intéressera aussi aux enzymes présentes dans le tube digestif des espèces étudiées.

2.5.2.4 Perspectives concernant les foreurs des tiges du sorgho

Les études en cours ont été affectées par le décès brutal de Patrice Tokro, en Thèse d'Etat à l'Université de Cocody, Abidjan.

Les études proposées pourraient se faire en collaboration avec l'Université de Ndjamen au Tchad et celle de Dschang au Cameroun. Il ne s'agit toutefois pour l'instant que de vœux pieux car aucune relation formelle n'a encore été établie dans ce sens.

A l'instar des travaux menés sur les punaises, la pénétrométrie pourrait aussi aider à déterminer le facteur de résistance aux foreurs des tiges sur sorgho *Muskuwaari*. Toutefois,

des résultats préliminaires (données non publiées : résultats obtenus dans le cadre des études menées au titre du Doctorat d'état de feu Patrice Tokro) indiquent que celle-ci n'est pas liée à un durcissement plus rapide des tiges. Obtenus à Montpellier, ils pourraient être confirmés dans les zones et périodes de production (pour les raisons d'interactions G X E évoquées plus haut).

Pour autant, le fait que ce soit l'inverse de ce qui était attendu qui a été observé (les variétés sensibles à *S. cretica* présentent un durcissement significativement plus rapide que les variétés sensibles !), ajouté au fait que des symptômes de dégâts foliaires de *S. cretica* ont été observés au Nord-Cameroun, il pourrait être plus productif d'étudier davantage la biologie de l'espèce dans ces conditions, et notamment de voir si elle y présente un stade baladeur. Le cas échéant (ou parallèlement) on pourra évaluer en pluvial dans un premier temps des variétés de sorgho résistantes à *C. partellus* et *B. fusca* (tq IS 2205 et Pb 14698-2 : 1.14.7.5 ; 1.14.7.22) sous infestation de *S. cretica*.

Par ailleurs, au Nord-Cameroun, des voies de changement du système de culture sorghicole sont en voie d'exploration (double culture riz pluvial-sorgho de décrue, et la culture du sorgho pluvial en SCV).

Des outils moléculaires ont été développés pour la caractérisation génétique des populations de *S. cretica* (P. Moyal, UR IRD R072). De plus, le ratio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pourrait être exploité pour déterminer le type photosynthétique (C3 ou C4) des hôtes alternatifs de *S. cretica* par rapport au sorgho de décrue au Nord-Cameroun et au Tchad.

2.6 Références citées

Les références concernant les travaux présentés par le candidat ou celles dont il est auteur ou co-auteur sont numérotées (cf. liste des publications présentée en Première partie).

Les autres références sont détaillées ci-dessous :

Agrawal, A.A. 1998. Induced responses to herbivory and increased plant performance. Science 279: 1201-1202.

Agrawal, A. A., R. Karban. 1999. Why induced defenses may be favored over constitutive strategies in plants, p. 45-61. In: The ecology and evolution of inducible defenses. R. Tollrian and C. D. Harvell (eds.). Princeton University Press, Princeton.

Agrawal, A.A., Sherrifs, M.F. 2001. Induced plant resistance and susceptibility to late-season herbivores of wild radish. Annals of the Entomological Society of America 94:71-75.

Ajayi, O. 1998. - Sorghum: West Africa, - In: Polaszek, A. (ed.) African Cereal Stem Borers. Economic Importance, Taxonomy, Natural Enemies and Control. p. 39-45. Wallingford, UK: CABI.

Altieri, M.A., Gurr, G.M., Wratten, S.D. 2004. Genetic engineering and ecological engineering : a clash of paradigms or scope for synergy ? Pages 13-31 in Gurr G.M., Wratten S.D., Altieri M. (eds.) Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods. CSIRO Publishing, Australia, et CABI Publishing, UK.

Arbonnier, P. 1966. L'analyse de l'information. Aperçu théorique et application à la loi multinomiale. Annales des Sciences Forestières XXIII (4) : 951-1016.

Bandyopadhyay, R., Mughogho, L.K., Prasada Rao, K.E. 1988. Sources of resistance to sorghum grain molds. Plant Disease 72:504-508.

Bentur, J. S., Kalode, M. B. 1996. Hypersensitive reaction and induced resistance in rice against the Asian rice gall midge *Orseolia oryzae*. Entomologia Experimentalis et Applicata 78: 77-81.

Bergelson, J., Crawley, M.J. 1992. Herbivory and Ipomopsis aggregate: the disadvantages of being eaten. American Naturalist 139: 870-882.

Bergvinson, D.J., Arnason, J.T., Hamilton, R.I., Mimh, J.A., Jewell, D.C. 1994. Determining leaf toughness and its role in maize resistance to the European Corn Borer (Lepidoptera : Pyralidae). Journal of Economic Entomology 87:1743-1748.

- Bernays, E.A., Minkenberg, O.P.J.M. 1997. Insect herbivores: different reasons for being a generalist. Ecology 78 :1157-1169.
- Bessin, B.T., Reagan, T.E., Martin, F.A. 1990. A moth production index for evaluating sugarcane cultivars for resistance to the sugarcane borer (Lepidoptera : Pyralidae). Journal of Economic Entomology 83:221-225.
- Bontemps, A., Bourguet, D., Pélozuelo, L., Bethenod, M.T., Ponsard, S. 2004. Managing the evolution of *Bacillus thuringiensis* resistance in natural populations of the European Corn Borer, *Ostrinia nubilalis*: host plant, host race and pherotype of adult males at aggregation sites. Proceedings of the Royal Society of London. Series B 271:2179-2185.
- Brown, G.G., Oliveira, L.J., 2004. White grubs as agricultural pests and as ecosystem engineers. Abstracts of the 14th International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. 30 Aug-3 Sep 2004, Rouen, France, 1 p.
- Bugg, R.L. 1992. Using cover crops to manage arthropods on truck farms. HortScience, 27, 7, 741-745.
- Chantereau, J., Ag Hamada, M., Bretaudeau, A., Tembely, S.O. 1998. Etude de nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan dans la zone cotonnière CMDT au Mali (1995-1996). Pages 199-210 in Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho ICRISAT-CIRAD, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali (Ratnadass, A., Chantereau, J. et Gigou, J., eds.) Montpellier, France: CIRAD.
- Chantereau, J., Luce, C., Ag Hamada, M., Fliedel, G. 1997. Selection of a sorghum line, ICSV 2001 combining productivity and grain quality. International Sorghum and Millets Newsletter 38:35-37.
- Coakley, S.M., McDaniel, L.R., Line, R.F. 1988. Quantifying how climatic factors affect variation in plant disease severity: a general method using a new way to analyze meteorological data. Climate change 12, 157-175.
- Constant, B., Grenier, S., Febvay, G., Bonnot, G. 1996. Host plant hardness in oviposition of *Macrolophus caliginosus* (Hemiptera : Miridae). Journal of Economic Entomology 89:1446-1452.
- Crovetto Lamarca, C. 1999. Agricultura de Conservacion : El Grano para el Hombre, la Paja para et Suelo. Mundi Prensa, Madrid.

Dakouo, D., Trouche, G., Bâ Malick, N., Neya, A., Kaboré, K.B. 2005. Lutte génétique contre la cécidomyie du sorgho, *Stenodiplosis sorghicola* : une contrainte majeure à la production du sorgho au Burkina Faso. Cahiers Agricultures 14 : 201-208.

Deguine, J.P. Ferron, P, 2005. Gestion agroécologique des populations d'insectes piqueurs suceurs en culture cotonnière. Pages 367-383 In : Régnault-Roger C, ed. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement du XXIème siècle. Paris : Lavoisier.

Djimadounngar, K. 2001. - Inventaire et cycles biologiques des Lépidoptères foreurs des tiges du sorgho et de leurs principaux parasitoïdes dans la région de N'Djamena (Tchad). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de N'Djamena/UMR INRA/INSA Biologie fonctionnelle, Lyon, 194 p.

Fernandes, G.W. 1990. Hypersensitivity: A neglected plant resistance mechanism against insect herbivores. Environmental Entomology 19:1173-1182.

Fernandes, G. W., Duarte, H., Luttge, U. 2003. Hypersensitivity of *Fagus sylvatica* L. against leaf galling insects. Trees 17: 407-411.

Fernandes, G.W., Negreiros, D. 2001. The occurrence and effectiveness of hypersensitive reaction against galling herbivores across host taxa. Ecological Entomology 26: 46-55.

Ferron, P, Deguine, J.P. 2005. Vers une conception agro-écologique de la protection des cultures. Pages 347-366 In : Régnault-Roger C, ed. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement du XXIème siècle. Paris : Lavoisier.

Franzmann, B.A., Butler, D.G. 1993. Compensation for reduction in seed set due to sorghum midge (*Contarinia sorghicola*) in midge-susceptible and midge-resistant sorghum (*Sorghum bicolor*). Australian Journal of Experimental Agriculture 33:193-196.

Gratton, C., Denno, R. F. 2003. Seasonal shift from bottom-up to top-down impact in phytophagous insect populations. Oecologia 134: 487–594.

Harris, K.M. 1962. Lepidopterous stem borers of cereals in Nigeria. Bulletin of Entomological Research 53: 139-171.

Haukioja, E., Koricheva, J. 2000. Tolerance to herbivory in woody vs. herbaceous plants. Evolutionary Ecology 14:551-562.

Hawkes, C.V., Sullivan, J.J. 2001. The impact of herbivory on plants in different resource confitions: a meta-analysis. Ecology 82:2045-2058.

Horber, E., 1980. Types and classification of resistance. Pages 15-21 In Breeding Plants Resistant to Insects (Maxwell, F.G., Jennings, P.R. eds). Wiley-Interscience Publication, New York.

Jambunathan, R., Kherkedar, M.S., Stenhouse, J.W. 1992. Sorghum grain hardness and its relationship to mold susceptibility and mold resistance. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40:1403-1408.

Jaremo, J., Tuomi, J., Nilsson, P., Lennartsson T. 1999. Plant adaptations to herbivory: mutualistic versus antagonistic coevolution. Oikos 84:313-320.

Khan, Z., Hassanali, A., Pickett, J. 2006. Managing polycropping to enhance soil system productivity: a case study from Africa. Pages 575-586 in Biological Approaches for Sustainable Soil Systems (Uphoff N., Ball A., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. eds.). Boca Raton, FLA, USA: CRC Press.

Khan, Z.R., Overholt, W.A., Ng'eny-Mengech, A. 2003. Integrated pest management case studies from ICIPE. Pages 441-452 in Integrated Pest Management in the Global Arena (Maredia, K., Dakouo, D., Mota-Sanchez, D. eds.). East Lansing, MI, USA : Michigan State University & Wallingford, Oxon, UK : CABI Publishing.

Khan, Z.R., Pickett, J.A. 2004. The “push-pull” strategy for stemborer management: a case study in exploiting biodiversity and chemical ecology. Pages 155-164 in Gurr G.M., Wratten S.D., Altieri M. (eds.) Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods. CSIRO Publishing, Australia, et CABI Publishing, UK.

King, P.D., Mercer, C.F., Meekings, J.S., 1981. Ecology of black beetle *Heteronychus arator*. Influence of plant species on larval consumption, utilization and growth. Entomologia experimentalis et applicata 29:109-116.

Kotanen, P.M., Rosenthal, J.P. 2000. Tolerating herbivory: does the plant care if the herbivore has a backbone? Evolutionary Ecology 14:537-549.

Kruger, M. 2006. Seasonal abundance and diversity of panicle-feeding Hemiptera in South Africa. Masters of Environmental Sciences Dissertation, North-West University, Potchefstroom, Afrique du Sud.

- Leimu, R., Koricheva, J. 2006. A meta-analysis of tradeoffs between plant tolerance and resistance to herbivores: combining the evidence from ecological and agricultural studies. Oikos 112:1-9.
- Malausa, T., Bethenod, M.T., Bontemps, A., Bourguet, D., Cornuet, J.M., Ponsard, S. 2005. Assortative mating in sympatric host races of the European Corn Borer. Science 308:258-260.
- Maschinski, J., Whitham, T.G. 1989. The continuum of plant responses to herbivory: the influences of plant association, nutrient availability, and timing. American Naturalist 134:1-19.
- Mathieu, B. 2005. Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique. Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. Thèse de doctorat, INA P-G, Paris, France.
- Mauricio, R., Rausher, M.D., Burdick, D.S. 1997. Variation in the defense strategies of plants: are resistance and tolerance mutually exclusive? Ecology 78:1301-1311.
- Miller, J.R., Cowles, R.S. 1990. Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible implication to onion maggot control. Journal of Chemical Ecology 16: 519-525.
- Nicole, M.C., 2002. Les relations des insectes phytophages avec leurs plantes hôtes. Antennae 9 : 6 p.
- Nwanze, K.F. 1989. Insect pests of pearl millet in Sahelian West Africa. I. *Acigona ignefusalis* (Pyralidae, Lepidoptera): distribution, population dynamics and assessment of crop damage. Tropical Pest Management 35: 137-142.
- Ollerstam, O., Rohfritsch, O., Höglund, S., Larsson, S. 2002. A rapid hypersensitive response associated with resistance in the willow *Salix viminalis* against the gall midge *Dasineura marginemtorquens*. Entomologia Experimentalis et Applicata 102:153-162.
- Oramas, G., Valdes, L., Hernandez, L., Queri, O., Garcia, N., Sanchez, M., Gonzalez, A. 2002. ISIAP Dorado, the first white-grain sorghum variety for human consumption in Cuba. Cultivos Tropicales 23:75.
- Ouattara, M., Vaksman, M., Reyniers, F.N., Kouressy, M., Niangado, O. 1998. Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agrosystèmes, Pages 123-137 in Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride : Actes du séminaire final du Projet STD3 TS3 93.0223, 27-30 Apr 1998, Florence, Italie, Ed. CeSIA, Florence, Italie & CIRAD, Montpellier, France.

- Ouattara, L., Trouche, G., Fliedel, G., Diawara, B. 2001. Potentialités d'utilisations des sorghos guinea tan au Burkina Faso. Pages 24-41 in Towards sustainable sorghum production, utilization, and commercialization in West and Central Africa: proceedings of a technical workshop of the West and Central Africa Sorghum Research Network (Akintayo, J., Sedgo, J. eds.), Apr 1999, Lomé, Togo. Bamako, Mali: WCASRN & Patancheru, India: ICRISAT.
- Owen, D.F. 1980. How plants may benefit from the animals that eat them. Oikos 35:230-235.
- Paige, K.N., Whitham, T.G. 1987. Overcompensation in response to mammalian herbivory: the advantage of being eaten. American Naturalist 129: 407-416.
- Pathak, R.S., 1985. Genetic variation of stem-borer resistance and tolerance in three sorghum crosses. Insect Science and its Application 6:359-364.
- Pathak, R.S. 1990. Genetics of sorghum, maize, rice and sugarcane resistance to the cereal stem borer, *Chilo* spp. Insect Science and its Application 11:689-699.
- Perrot N., Gonne S., Mathieu B. 2002. Biodiversité et usages alimentaires des sorghos muskuwaari au Nord-Cameroun In : De Garine H., Raimond C., Langlois O. Colloque Méga-Tchad, Paris, IRD.
- Ponsard, S., Arditi, R. 2000. What can stable isotope ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) tell about the food web of soil macro-invertebrates? Ecology 81: 852-864.
- Price, P.W. 1991. The plant vigor hypothesis and herbivore attack. Oikos 62:244-251.
- Rämert, B., Lennartsson, M., Davies, G. 2002. the use of mixed species cropping to manage pests and diseases – theory and practice. Pages 207-210 in UK Organic Research 2002: Proceedings of the COR Conference, 26-28 Mar 2002, Aberyswyth (Powell et al. eds).
- Rami, J.F., Dufour, P., Trouche, G., Fliedel, G., Mestres, C., Davrieux, F., Blanchard, P., Hamon, P. 1998. Quantitative trait loci for grain quality productivity, morphological and agronomical traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Theoretical and Applied Genetics 97:605-616.
- Root, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). Ecological Monographs 43:94-125.
- Rosenheim, J.A., Wilhoit, L.R., Goodell, P.B., Grafton-Cardwell, E.E., Leigh, T.F. 1997. Plant compensation, natural biological control, and herbivory by *Aphis gossypii* on pre-

reproductive cotton: the anatomy of a non-pest. Entomologia Experimentalis et Applicata 85:45-63.

Rosenheim, J.A., Goeriz, R.E., Thacher, E.F. 2004. Omnivore or herbivore? Field observations of foraging by *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae). Environmental Entomology 33:1362-1370.

Rosenthal, J.P., Dirzo, R. 1997. Effects of life history, domestication and agronomic selection on plant defence against insects: Evidence from maizes and wild relatives. Evolutionary Ecology 11:337-355.

Rosenthal, J.P., Welter, S.C. 1995. Tolerance to herbivory by a stem-boring caterpillar in architecturally distinct maizes and wild relative. Oecologia 102:146-155.

Schulthess F., Setamou F. 1999. *Canavalia ensiformis* et *Mucuna pruriens* plantes-hôtes intermédiaires du ravageur du maïs *Mussidia nigricornis* Ragonot (Lepidoptera: Pyralidae). CIEPCA Newsletter 4: 2.

Séguy, L., Bouzinac, S., Husson, O. 2006. Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover : learning from Brazilian experience. Pages 323-342 in Biological Approaches for Sustainable Soil Systems (Uphoff N., Ball A., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. eds.). Boca Raton, FLA, USA: CRC Press.

Sembène, M., Brizard, J.P., Delobel, A. 1998. Allozyme variation among populations of the groundnut seed-beetle, *Caryedon serratus* (OL.) in Senegal. Insect Science and its Application 18:77-86.

Sembène, M., Delobel, A. 1996. Identification morphométrique de populations soudano-sahéliennes de bruche de l'arachide, *Caryedon serratus* (Olivier) (Coleoptera Bruchidae). Journal of Agricultural Zoology 110:357-366.

Sembène, M., Delobel, A. 1998. Genetic differentiation of groundnut seed-beetle populations in Senegal. Entomologia Experimentalis et Applicata 87:171-180.

Sharma, H.C., Dombia, Y.O., Haidara, M., Scheuring, J.F., Ramaiah, K.V., Beninati, N.F. 1994. Sources and mechanisms of resistance to sorghum head bug, *Eurystylus immaculatus* Osh. in West Africa. Insect Science and its Application 15:39-48.

Sharma, H.C., Mukuru, S.Z., Manyasa, E., Were, J.W. 1999. Breakdown of resistance to sorghum midge, *Stenodiplosis sorghicola*. Euphytica 109:131-140.

- Shetty, S.V.R., Beninati, N.F., Beckerman, S.R. 1991. Le renforcement des travaux de recherché sur le sorgho et le mil au Mali. Patancheru, Inde : ICRISAT. 85 p.
- Shrewsbury, P.M., Raupp, M.J. 2006. Do top-down or bottom-up forces determine *Stephanitis pyrioides* abundance in urban landscapes? Ecological Applications 16:262-272.
- Silvain, J.F., Delobel, A. 1998. Phylogeny of West African *Caryedon* (Coleoptera: Bruchidae): Congruence between Molecular and Morphological data. Molecular Phylogenetics and Evolution 9:533-541.
- Stiling, P. & Rossi, A.A. 1997. Experimental manipulations of top-down and bottom-up factors in a tri-trophic system. Ecology 78:1602-1606.
- Stonedahl, G.M. 1995. Taxonomy of African *Eurystylus* (Heteroptera : Miridae), with a review of their status as pests of sorghum. Bulletin of Entomological Research 85:135-156.
- Strauss, S.Y., Agrawal, A.A. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. TREE 14:179-185.
- Strebler, G. 1979. Les activités glycosidasiques de *Pachnoda marginata* Drury (Coléoptère Scarabaeidae). Bulletin de la Société Zoologique de France 104 :73-77.
- Sutherland O.R.W., Greenfield W.J. 1977. A new toxin for grass grub and black beetle in resistant *Lotus major*. Proceedings of the New Zealand weed and pest control conference 14: 158-160
- Takahashi, F. 2000. Ecosystem immunity as a strategy for controlling insect pests in a biotic community. Journal of Crop Production 3: 49-61.
- Taneja, S.L., Leuschner, K. 1985. Methods of rearing, infestation and evaluation of Chilo partellus resistance in sorghum. Pages 175-188 in Proceedings of the International sorghum Entomology Workshop 15-21 Jul 1984, Texas A&M University, College Station, TX, USA. Patancheru, AP, India: ICRISAT.
- Taneja, S.L., Nwanze, K.F., 1989. Assessment of yield loss of sorghum and pearl millet due to stem borer damage. In : ICRISAT. International Workshop on Sorghum Stem Borers, 17-20 Nov 1987. p. 95-104. Patancheru, AP, India: ICRISAT.
- Touré, A., Kapran, I. 2001. Development of tan/white sorghum cultivars in West and Central Africa. Pages 42-51 in Towards sustainable sorghum production, utilization, and commercialization in West and Central Africa: proceedings of a technical workshop of the

West and Central Africa Sorghum Research Network (Akintayo, J., Sedgo, J. eds.), Apr 1999, Lomé, Togo. Bamako, Mali: WCASRN & Patancheru, India: ICRISAT.

Touré, A. Miller, F.R., Rooney, L.W., McDonough, C. 1992. Grain filling rates in some genotypes of sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench]. Page 266 in Proceedings of the International Sorghum/Millet Collaborative Research Support Program (CRSP) Conference (Schilling, T. & Stoner, D. eds.). 8-12 Jul 1991, Corpus Christi, Texas, USA. Lincoln, Nebraska, USA: INTSORMIL.

Trumble, J.T., Kolodny-Hirsch, D.M., Ting, I.P. 1993. Plant compensation for arthropod herbivory. Annual Review of Entomology 38: 93–119

Van den Berg, J. 1997. Use of o moth production index to assess the impact of sorghum varieties in management of *Chilo partellus* in Southern Africa. Insect Science and its Application 17:151-155.

Van den Berg J., sous presse. Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) as trap plant for *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) and *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae). Annales de la Société entomologique de France.

Van Den Berg, J. Rebe, M., De Bruyn, J., Van Hamburg, H. 2001. Developing habitat management systems for graminaceous stem borers in South Africa. Insect Science and its Application 21, 381 – 388.

Van den Berg, J., Wenzel, W.G., Van der Westhuizen, M.C. 1994. Tolerance and recovery resistance of grain sorghum genotypes artificially infested with *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae). Insect Science and its Application 15:61-65.

Van Rensburg, J.B.J., Van den Berg, J. 1992. Stem borers in grain sorghum: II. Yield loss compensation in relation to borer attack. South African Journal of Plant and Soil 9:81-86.

Wilmé, L., Goodman, S.M., Ganzhorn, J.U. 2006. Biogeographic evolution of Madagascar's microendemic biota. Science 312:1063-1065.